

ANALISIS STATISTIK DATA PENGUKURAN  
LINE-OF-SIGHT (LOS) LINK  
FREKUENSI KA-BAND DI SURABAYA

TUGAS AKHIR

Oleh :

ARIES AMIN YUSUF

2294 100 043



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2000

RSE  
621.384.11  
yus  
a-1  
2000

Rp 30.000.

PERPUSTAKAAN	
Teknik	01/105/01
Teknik	H

**ANALISIS STATISTIK DATA PENGUKURAN  
LINE-OF-SIGHT (LOS) LINK  
FREKUENSI KA-BAND DI SURABAYA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Pada**

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui  
Dosen Pembimbing,**



**Dr. Ir. Mochamad Salehudin, M.Eng.Sc.**

**S U R A B A Y A  
JULI, 2000**

## ABSTRAK

*Alokasi frekuensi Ka-Band (27-40 GHz) telah diakui sebagai kandidat terkuat menjadi sinyal pembawa untuk akses wireless ke layanan broadband multimedia. Penelitian menyeluruh terhadap aspek propagasi radio pada spektrum frekuensi sangat tinggi ini harus dilakukan guna memperoleh ukuran parameter yang harus diambil guna melindungi link radio broadband dari pelemahan akibat faktor meteorologi seperti hujan. Untuk implementasi sistem Ka-Band di areal tropis membutuhkan usaha ekstra karena hujan deras sering terjadi hampir di sepanjang tahun.*

*Tugas akhir ini akan menerangkan eksperimen dan hasil awal dari pengukuran Line-Of-Sight (LOS) link Ka-Band (28 GHz) sejauh 5,73 km di Surabaya, Indonesia. Analisis tentang pelemahan hujan dalam bentuk distribusi kumulatif (persentase waktu) kemudian diperbandingkan dengan beberapa model prediksi yang telah ada. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa distribusi redaman hujan empiris di Surabaya lebih sesuai dengan model prediksi Two-component.*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur alhamdulillah senantiasa terpanjatkan ke hadirat Allah SWT atas keberhasilan penulis menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang mengambil judul :

### **ANALISIS STATISTIK DATA PENGUKURAN**

#### **LINE-OF-SIGHT (LOS) LINK**

#### **FREKUENSI KA-BAND DI SURABAYA**

Tugas akhir ini disusun sebagai syarat yang harus ditempuh dalam meraih gelar Sarjana Teknik (S-1) Elektro bidang studi Telekomunikasi Multimedia di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Harapan penulis semoga karya ini bisa memberikan sumbangsih dalam bidang telekomunikasi terestrial dan bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2000

Penulis.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur alhamdulillah senantiasa terpanjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, hidayah dan inayah-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil penulis rampungkan. Tak lupa penulis sampaikan terima kasih kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta atas segala kasih sayang, do'a restu, dorongan, semangat dan petuah yang sangat menyejukkan dan tak kan bisa dibalas dengan apapun jua.
2. Bapak Dr. Ir. Mochamad Salehudin, M. Eng. Sc selaku dosen pembimbing sekaligus dosen wali yang telah memberikan kesempatan dan meluangkan waktu hingga penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Achmad Jazidie, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS.
4. Bapak Ir. M. Aries Purnomo selaku Koordinator Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS.
5. Para dosen dan karyawan yang telah banyak membantu selama masa kuliah.
6. Mas Hendry, Mr. Ludi J. M. Wijdemans (Eindhoven University of Technology), Edi Nursuhanto, Arditya Irawan dan Adhi Dharma W thanks for materials and service support.
7. Sahabat-sahabat terkasih di FIPE : Ilham, Pinklee, Rama, Nunus, Arief, Kendy, Hilmy "Mc-Larren", Irfan, Eggy, Award "Si-Boy", 'n Ahonk. Kompak always jack..... !!!
8. Teman kos yang bandel 'n funky : Bayu, Zarjho, Sholeh, Gani, Basuki and Azroel. Keep funky friends..... ☺
9. Pihak-pihak lainnya yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu.

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	ii
<b>ABSTRAK</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	iv
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b>	v
<b>DAFTAR ISI</b>	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	viii
<b>DAFTAR TABEL</b>	ix
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	 1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERMASALAHAN	3
1.3 PEMBATAHAN MASALAH	3
1.4 TUJUAN	4
1.5 METODOLOGI	4
1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN	5
 <b>BAB II TEORI PENUNJANG</b>	 7
2.1 KARAKTERISTIK UMUM PROPAGASI TERESTRIAL	7
2.1.1 Propagasi LOS	9
2.1.2 Rugi ruang bebas	11
2.1.3 Pengaruh atmosfir & permukaan bumi	12
2.2 SISTEM KA-BAND DI DUNIA	20
2.3 TEORI STATISTIKA	22
2.3.1 Histogram	23
2.3.2 Mean & standar deviasi	25
2.3.3 Fungsi Distribusi Kumulatif	25
2.3.4 Fungsi Kerapatan Probabilitas	26
2.3.5 Root mean square error	26
2.4 MODEL PREDIKSI	27
2.4.1 Model Two component	27

2.4.2	Model Dissanayake-Assoka-Haidara .....	29
2.4.3	Model Rice-Holmberg .....	30
<b>BAB III</b>	<b>PROPAGASI LOS LINK KA-BAND DI SURABAYA .....</b>	<b>34</b>
3.1	DESAIN SISTEM .....	34
3.2	DATA AKUISISI .....	37
3.3	SOFTWARE ANALISIS DATA .....	40
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISIS STATISTIK LOS LINK KA-BAND DI SURABAYA .....</b>	<b>43</b>
4.1	REPRESENTASI SINYAL .....	43
4.2	DISTRIBUSI KUMULATIF EMPIRIS .....	46
4.3	PERBANDINGAN TERHADAP MODEL .....	48
4.3.1	Model Prediksi Two-component .....	48
4.3.2	Model Prediksi DAH .....	49
4.3.3	Model Prediksi Rice-Holmberg .....	51
4.4	PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN DI WILAYAH LAIN .....	55
4.5	PERBAIKAN UNJUK KERJA LINK KA-BAND .....	57
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>59</b>
5.1	KESIMPULAN .....	59
5.2	SARAN .....	59

Daftar Pustaka

Daftar Istilah

Lampiran



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lintasan Propagasi Line of Sight .....	10
Gambar 2.2 Difraksi Pada Puncak Penghalang .....	14
Gambar 2.3 First Fresnel-zone .....	20
Gambar 2.4 Distribusi Atenuasi pada 19,8 dan 29,7 GHz (Eindhoven, Netherland) .....	22
Gambar 2.5 Distribusi Atenuasi pada 20,2 dan 27,5 GHz (Oklahoma, USA) .....	22
Gambar 2.6 Histogram dari Intensitas Curah Hujan (Esopus Creek, New York) .....	23
Gambar 3.1 Blok Diagram Penelitian LOS Link Ka-Band di Surabaya ...	36
Gambar 3.2 Perangkat penelitian Ka-Band .....	37
Gambar 4.1 Grafik Sinyal Redaman 12 Mei 2000 .....	44
Gambar 4.2 Grafik Intensitas Hujan 12 Mei 2000 .....	44
Gambar 4.3 Grafik Sinyal Redaman 19 Mei 2000 .....	45
Gambar 4.4 Grafik Intensitas Hujan 19 Mei 2000 .....	45
Gambar 4.5 EDF Redaman Hujan Surabaya .....	46
Gambar 4.6 PDF Empiris Redaman Hujan Surabaya .....	47
Gambar 4.7 EDF Intensitas Hujan Surabaya .....	47
Gambar 4.8 Model Two-Component Untuk Prediksi Redaman Hujan di Surabaya .....	49
Gambar 4.9 Model DAH Untuk Prediksi Redaman Hujan di Surabaya .....	51
gambar 4.10 Model Rice-Holmberg Untuk Prediksi Intensitas Hujan di Surabaya .....	53
Gambar 4.11 Distribusi Redaman pada 20,2 dan 27,5 GHz di Oklahoma, USA .....	56
Gambar 4.12 Distribusi Redaman pada 19,8 dan 29,7 GHz di Eindhoven, NL .....	56



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembagian Band Frekuensi .....	7
Tabel 2.2 Spektrum Frekuensi Satelit .....	8
Tabel 2.3 Range dari Konduktifitas Permukaan Bumi .....	17
Tabel 2.4 Perbandingan Prediksi Slant-Path Attenuation dengan Data Terukur .....	21
Tabel 2.5 Total Intensitas Hujan Rata-rata Tiap Bulan di Surabaya .....	24
Tabel 2.6 Two-Component Model Parameters untuk setiap Daerah Iklim Hujan .....	29
Tabel 3.1 Contoh File idf.drp .....	39
Tabel 3.2 Kondisi Akhir Konfigurasi Port .....	40
Tabel 4.1 Intensitas Curah Hujan Surabaya .....	52
Tabel 4.2 Perbandingan Redaman Empiris dengan Model Prediksi .....	54
Tabel 4.3 Perbandingan Intensitas Hujan Empiris dengan Model Rice-Holmberg .....	54
Tabel 4.4 Perbandingan EDF Ka-Band di Berbagai Daerah .....	57

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 LATAR BELAKANG

Trend dunia telekomunikasi saat ini terlihat semakin mengarah ke komunikasi broadband. Pada dekade terdahulu sistem komunikasi data banyak menggunakan jaringan transmisi komunikasi suara/voice karena demandnya masih kecil. Namun perkembangan aplikasi multimedia pada fase berikutnya membuat pertukaran informasi data menjadi beragam bentuknya, baik berupa gambar, citra, video dan bahkan voice dalam format data digital.

Teknologi multimedia ini telah banyak diterapkan di berbagai bidang seperti perdagangan, industri, perbankan, pemerintahan, pendidikan, kesehatan, hiburan dan lain-lain. Komunikasi multimedia ini kebanyakan menggunakan akses satelit antara lain Kastar, olympus, intelsat, Italsat dan ACTS. Contoh implementasi layanannya adalah teleconference, teledoctor, teleeducation, telebanking, home shopping, dan video on demand dimana kapasitas data yang dipertukarkan sangat besar. Aplikasi ini dikenal juga dengan sebutan teknologi broadband karena sangat membutuhkan bandwidth yang lebar serta kecepatan laju bit yang tinggi.

Implementasi teknologi broadband dengan menggunakan transmisi radio membutuhkan kanal frekuensi yang leluasa karena memerlukan bandwidth yang sangat lebar padahal di sisi lain frekuensi adalah resource yang sangat terbatas. Telekomunikasi radio dengan berbagai teknik modulasi saat ini telah menggunakan frekuensi yang sangat berimpit bahkan ada yang memakai teknik *frequency reuse*. Dengan demikian implementasi sistem propagasi radio dengan



alokasi frekuensi yang lebih tinggi seperti Ka-Band akan dibutuhkan pada masa mendatang.

Sistem propagasi yang menggunakan frekuensi diatas 10 GHz sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim. Oleh karena itu Ka-Band yang mempunyai alokasi frekuensi 27 – 40 GHz relatif lebih rentan terhadap perubahan atmosfer dari pada band frekuensi dibawahnya seperti Ku-Band dan C-Band.

Untuk daerah beriklim tropis dengan curah hujan tinggi, sistem C-Band relatif tidak terpengaruh oleh atenuasi yang diakibatkan oleh hujan namun untuk kanal Ka-Band akan menjadi masalah yang sangat serius. Oleh karena itu sistem Ka-Band memerlukan perhitungan cuaca yang akurat sebelum diterapkan di daerah bercurah hujan tinggi seperti Indonesia.

Mengingat karakteristik kondisi cuaca di setiap daerah adalah spesifik maka karakteristik propagasi Ka-Band di setiap daerah juga berbeda-beda baik untuk link satelit maupun terestrial. Untuk mengetahui karakteristik propagasi tersebut, sejak tahun 1998 hingga sekarang ITS bekerjasama dengan Eindhoven University of Technology (EUT) Belanda telah melakukan uji transmisi data Line-of-Sight (LOS) link Ka-Band dengan frekuensi 28 GHz di Surabaya.

Dalam uji coba tersebut dilakukan pengukuran antara lain terhadap besar atenuasi, pergeseran frekuensi dan curah hujan. Berdasarkan data pengukuran tersebut akan dilakukan analisis statistik untuk memperoleh distribusi curah hujan dan pelemahan atau attenuation yang disebabkan. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk implementasi sistem Ka-Band terestrial di Indonesia dan di daerah tropis lainnya.

Tugas akhir ini akan membahas desain Ka-Band dalam sistem komunikasi terestrial dan hasil pengolahan statistik dari data selama penelitian.



## 1.2 PERMASALAHAN

Sampai dengan saat ini informasi, data dan laporan penelitian terhadap implementasi Ka-Band untuk daerah tropis sangat minim bahkan tidak ada, yang tersedia cukup adalah dari benua Eropa dan Amerika yang mempunyai empat musim cuaca baik untuk link satelit maupun untuk line-of-sight link. Untuk Asia hanya Jepang yang telah melakukan penelitian serupa. Karena Jepang juga mempunyai empat musim, maka hasil yang didapat belum bisa mewakili daerah tropis. Jadi bagaimana karakteristik link Ka-Band di daerah tropis ?

## 1.3 PEMBATASAN MASALAH

Untuk mengimplementasikan transmisi radio pada alokasi frekuensi Ka-Band di daerah tropis seperti Indonesia diperlukan penelitian tersendiri. Oleh karena itu dilakukan uji transmisi Line-of-Sight link Ka-Band di Surabaya oleh ITS bekerjasama dengan Eindhoven University of Technology Belanda. Proyek penelitian ini sangat diperlukan hasilnya sebagai representasi daerah tropis.

Sentral pembahasan dalam tugas akhir ini adalah mencari model statistik berupa distribusi kumulatif curah hujan dan pelemahan yang ditimbulkannya dari data-data pengukuran yang diperoleh selama dalam uji transmisi LOS link Ka-Band di Surabaya. Distribusi kumulatif ini akan dinyatakan dalam bentuk persentase waktu / *time percentage*.

Analisis dan pengolahan datanya menggunakan software pemrograman MATLAB. Hasil yang diperoleh akan diperbandingkan dengan hasil yang diperoleh di daerah / negara lain serta dengan beberapa metode prediksi yang telah ada (misalnya model Rice-Holmberg dan DAH).

#### 1.4 TUJUAN

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mempelajari sistem transmisi LOS link yang bekerja pada alokasi frekuensi sangat tinggi (Ka-Band).
2. Menganalisis secara statistik dan mengkaji secara teknis data pengukuran propagasi radio dengan frekuensi Ka-Band di Surabaya.
3. Mensimulasikan data dan pemodelan statistik sistem propagasi radio Ka-Band di Surabaya.
4. Membandingkan hasil yang diperoleh dengan beberapa model prediksi serta dengan hasil penelitian di daerah / negara lain.

#### 1.5 METODOLOGI

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui sistem kerja peralatan yang dipakai dalam uji transmisi LOS link Ka-Band ini termasuk di dalamnya adalah perangkat akuisisi data beserta software bahasa pascal-nya.

Setelah memastikan bahwa seluruh perangkat telah bekerja dengan baik, maka dilakukan proses pengambilan data pengukuran secara periodik. Untuk melakukan analisis statistik hingga diperoleh error sekecil-kecilnya sebetulnya dibutuhkan data yang bersifat long-term atau tahunan, namun sebagai langkah awal (*preliminary result*) dapat digunakan data yang diperoleh saat bulan terburuk (*worst months*) dimana sering terjadi hujan dengan laju sangat tinggi.

Langkah berikutnya adalah validasi dan kalibrasi terhadap file raw data yang telah diperoleh kemudian melakukan analisis statistik terhadap data tersebut dengan menampilkan distribusi kumulatif laju curah hujan dan redaman yang diakibatkannya dalam bentuk persentase waktu.



Langkah terakhir adalah melakukan perbandingan dengan hasil penelitian serupa yang diperoleh di daerah / negara lain dan juga dengan metode prediksi yang telah ada. sehingga dengan demikian akan dapat ditarik kesimpulan yang memadai.

## **1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN**

Laporan tugas akhir ini disusun dengan tata urutan pembahasan sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi tentang Latar Belakang, Permasalahan, Pembatasan Masalah, Tujuan, Metodologi, dan Sistematika Pembahasan.

### **BAB II TEORI PENUNJANG**

Menjelaskan tentang karakteristik umum propagasi gelombang mikro, faktor-faktor yang mempengaruhi sistem propagasi pada frekuensi Ka-Band. Memberikan deskripsi tentang sistem link Ka-band yang telah diimplementasikan di beberapa negara (USA dan Eropa) beserta karakteristiknya dan metode memperoleh model prediksi. Selain itu juga berisi penjelasan teori dasar statistik yang akan dipakai dalam melakukan analisis terhadap data pengukuran yang diperoleh.

### **BAB III PROPAGASI LOS LINK KA-BAND DI SURABAYA**

Menjelaskan tentang uji transmisi data LOS link pada frekuensi Ka-Band di Surabaya, desain sistem (spesifikasi alat, blok diagram dan cara kerja), serta metode akuisisi data (parameter yang diukur, kalibrasi dan proses penyimpanan data).



#### **BAB IV ANALISIS STATISTIK LOS LINK KA-BAND DI SURABAYA**

Berisi perhitungan dan uji statistik untuk memperoleh distribusi kumulatif dari parameter yang diukur sehingga mendapat gambaran tentang karakteristik implementasi Ka-Band di Surabaya secara spesifik. Hasil yang diperoleh akan diperbandingkan dengan beberapa model prediksi dan hasil analisis serupa yang dilakukan di negara lain sehingga bisa ditarik kesimpulan yang memadai.

#### **BAB V PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran.

## BAB II

### TEORI PENUNJANG

#### 2.1 KARAKTERISTIK UMUM PROPAGASI TERESTRIAL

Sesuai dengan kesepakatan internasional, spektrum gelombang elektromagnetik yang termasuk frekuensi radio ditetapkan pada frekuensi 30 kHz sampai dengan 300 GHz walaupun demikian propagasi gelombang radio bisa saja dilakukan pada frekuensi beberapa kHz saja.

Untuk mengatur penggunaannya, frekuensi radio tersebut dibagi-bagi lagi dalam beberapa range yang disebut *band*. Setiap band mempunyai nama sesuai dengan tabel 2.1 di bawah.

Frekuensi Super High Frequency (SHF) umumnya dikenal dengan sebutan *microwave* karena berada di atas frekuensi 1,5 GHz. Berdasarkan tabel

Tabel 2.1  
Pembagian Band Frekuensi<sup>1</sup>

<i>Band Frekuensi</i>	<i>Range</i>
<i>Extremely Low Frequency (ELF)</i>	< 3 kHz
<i>Very Low Frequency (VLF)</i>	3 – 30 kHz
<i>Low Frequency (LF)</i>	30 – 300 kHz
<i>Medium Frequency (MF)</i>	300 kHz – 3 MHz
<i>High Frequency (HF)</i>	3 – 30 Mhz
<i>Very High Frequency (VHF)</i>	30 – 300 MHz
<i>Ultra High Frequency (UHF)</i>	300 MHz – 3 GHz
<i>Super High Frequency (SHF)</i>	3 GHz – 30 GHz
<i>Extra High Frequency (EHF)</i>	30 – 300 GHz

<sup>1</sup> J.D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, 1992, hal. 4.

2.1 maka Ka-Band termasuk dalam SHF. Istilah Ka-Band sebenarnya diadopsi dari sistem komunikasi satelit, dimana alokasi frekuensi-nya dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah.

Secara umum kinerja suatu sistem komunikasi gelombang radio didasarkan pada besarnya redaman sinyal dimana hal ini dipergunakan untuk menentukan jarak antara antena pemancar dan penerima atau antar repeater. Besar redaman propagasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

❑ Frekuensi kerja.

Frekuensi sangat menentukan besar redaman, sehingga makin tinggi frekuensi kerja maka makin besar pula redaman yang akan dialami oleh sinyal tersebut.

❑ Terrain atau lintasan yang dilalui.

**Tabel 2.2**  
**Spektrum Frekuensi Satelit <sup>2</sup>**

<i>Frequency Band</i>	<i>Range (GHz)</i>
<b>L</b>	1 – 2
<b>S</b>	2 – 4
<b>C</b>	4 – 8
<b>X</b>	8 – 12
<b>Ku</b>	12 – 18
<b>K</b>	18 – 27
<b>Ka</b>	27 – 40
<b>Millimeter</b>	40 – 300

<sup>2</sup> Tri T. Ha, *Digital Satellite Communications*, McGraw-Hill, 1990, hal.3.



Dalam perambatannya, gelombang radio akan melewati daerah dengan pola atau kontur yang tidak selalu homogen di mana makin kasar daerah yang dilalui oleh sinyal maka makin besar redamannya.

- Iklim atau atmosfer di mana sistem tersebut diimplementasikan.

Kondisi iklim suatu daerah akan menentukan karakteristik partikel-partikel atmosfer. Partikel atmosfer ini akan menimbulkan efek redaman pada sinyal radio yang melintasinya.

Redaman-redaman tersebut akan mengakibatkan loss atau kerugian daya transmisi gelombang radio.

Sedangkan jika ditinjau dari metode transmisi-nya, sistem komunikasi terestrial radio dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

- Propagasi Line-Of-Sight (LOS)

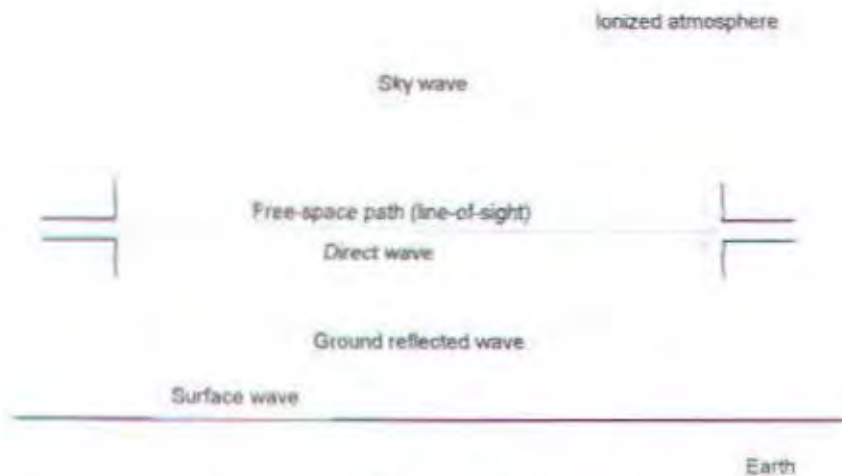
Pada sistem LOS, gelombang radio diasumsikan merambat lurus sehingga antena pemancar dan penerima harus pointing seakurat mungkin.

- Propagasi Troposcatter.

Troposcatter adalah singkatan dari tropospheric-scatter, artinya propagasi ini memanfaatkan sifat lapisan troposfer (10 – 16 km di atas permukaan bumi) yang dapat memantulkan dan membelokkan gelombang radio, karena di lapisan inilah fenomena cuaca terjadi. Dengan cara ini, jarak jangkauannya dapat menjadi lebih jauh.

### 2.1.1 Propagasi Line-Of-Sight

Propagasi terestrial yang dilakukan pada frekuensi Ka-Band hanya bisa dilakukan dengan memakai sistem *line-of-sight* (LOS) dengan jarak antara antena pemancar dan penerima tidak boleh terlalu jauh sebagai kompensasi dari terlalu tingginya loss yang dialami.



**Gambar 2.1**  
Lintasan Propagasi Line of Sight <sup>3</sup>

Skema lintasan LOS dapat dilihat pada gambar 2.1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa dalam skema propagasi LOS, gelombang elektromagnetik tidak hanya merambat dalam satu garis lurus, tetapi juga melewati lintasan yang lain. Hal ini disebabkan pengaruh dari faktor atmosfer (iklim setempat) dan kondisi daerah.

Kedua faktor di atas dapat menimbulkan rugi transmisi akibat efek *multipath propagation* yaitu sinyal merambat dan diterima di receiver melalui berbagai lintasan jamak. Lintasan jamak ini dapat menyebabkan rugi transmisi karena menyebabkan munculnya *fading*. Fading adalah suatu gejala dimana sinyal yang diterima level-nya bervariasi/berubah-ubah menurut fungsi waktu akibat adanya perbedaan fasa antara gelombang yang merambat langsung menuju ke arah antena penerima dan dengan gelombang yang diterima dari

<sup>3</sup> Wayne Tomasi, *Advanced Electronic Communications Systems*, Prentice Hall, 1992, hal. 286.

lintasan lainnya (gelombang pantul). Fading yang disebabkan lintasan jamak ini disebut pula *multipath fading*.

Sebagai langkah awal, pembahasan rugi transmisi LOS link ini dapat dilakukan dengan pendekatan konsep propagasi ruang bebas yaitu transmisi yang dilakukan dengan asumsi bumi jauh sekali –sehingga faktor permukaan tidak mempengaruhi propagasi– serta partikel atmosfer terdistribusi seragam dan tidak menyerap energi gelombang elektromagnetik.

### 2.1.2 Rugi Ruang Bebas

Rugi ruang bebas atau *free-space path loss* didefinisikan sebagai kerugian yang dialami gelombang elektromagnetik yang merambat melalui lintasan lurus dalam ruang bebas di mana permukaan bumi diasumsikan jauh sekali sehingga pengaruh refleksi, refraksi, difraksi, absorpsi maupun blocking dari obyek di sekitarnya dianggap tidak ada.

Redaman ruang bebas merupakan perbandingan antara daya yang dipancarkan oleh antenna pemancar dengan daya yang diterima oleh antenna penerima dan dinyatakan dengan rumusan sebagai berikut : <sup>4</sup>

$$L_{fs} = 10 \log G_T + 10 \log G_R - 20 \log F - 20 \log D + 147,6 \quad (2.1)$$

dan untuk antenna isotropis, dapat dinyatakan :

$$L_{fs} = -32,44 - 20 \log D - 20 \log F \quad (2.1.a)$$

dimana :

$L_{fs}$  = Loss free space [dB]

$G_T$  = Gain antenna pemancar [dB]

$G_R$  = Gain antenna penerima [dB]

<sup>4</sup> J.D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, 1992, hal. 18.



$D$  = jarak [km]

$F$  = frekuensi [MHz]

Jika kemudian kita mengacu pada kondisi sebenarnya dimana dalam propagasi LOS link terestrial, gelombang radio pasti melalui atmosfer serta dekat dengan permukaan bumi sehingga rugi transmisi juga akan bertambah dengan kerugian akibat partikel atmosfer dan pengaruh permukaan tanah.

Akibat pengaruh atmosfer gelombang elektromagnetik dapat mengalami rugi-rugi *refraksi*, *scattering* dan *absorbing* serta akibat permukaan tanah dapat mengalami rugi-rugi *refleksi*, *difraksi* dan bahkan *blocking*.

### 2.1.3 Pengaruh Atmosfer & Permukaan Bumi

Jika sinyal radio merambat dalam ruang bebas maka lintasannya akan mengikuti sebuah garis lurus. Namun akibat pengaruh partikel penyusun atmosfer bumi, maka lintasan tersebut menjadi melengkung.

#### 2.1.3.1 Rugi Refraksi

Refraksi pembiasan terjadi karena adanya partikel-partikel yang tidak terdistribusi merata / uniform di atmosfer sehingga indeks bias-nya pun berubah-ubah menurut ketinggiannya dari permukaan bumi, akibatnya gelombang menjadi merambat secara melengkung.

#### 2.1.3.2 Rugi Refleksi

Refleksi atau pemantulan terjadi karena gelombang merambat mengenai media pemantul seperti permukaan bumi, permukaan air, gedung, dan lain-lain. Pantulan dari gedung dan benda sejenis lebih bersifat random dan kasuistik, namun pantulan dari permukaan bumi dapat diterangkan dengan pendekatan kelengkungan bumi.

Rugi yang disebabkan oleh pantulan kelengkungan bumi dapat dihitung sebagai berikut :

$$L_{ref} = -6 - 10 \log[\sin^2(\pi \Delta r / \lambda)] \quad (2.2)$$

dimana :

$L_{ref}$  = rugi pantulan [dB]

$\Delta r = r_1 + r_2 - r_0$  [m]

$\lambda$  = panjang gelombang carrier [m]

Untuk link yang berjarak hanya beberapa puluh kilometer, parameter kelengkungan bumi biasanya dapat diabaikan dimana bumi diasumsikan sebagai permukaan mendatar.

Rugi pantulan pada permukaan mendatar dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$L_{ref} = 10 \log G_T + 10 \log G_R + 20 \log h_T + 20 \log h_R - 40 \log D \quad (2.3)$$

Dimana :

$L_{ref}$  = rugi pantulan [dB]

$G_T$  = gain antena pemancar [dB]

$G_R$  = gain antena penerima [dB]

$h_T$  = tinggi antena pemancar [m]

$h_R$  = tinggi antena penerima [m]

$D$  = jarak [m]

### 2.1.3.3 Rugi Difraksi

Sesuai dengan prinsip Huygens, di daerah bayangan (*shadow region*) sebuah benda penghalang --yang diasumsikan tidak dapat ditembus atau menyerap sempurna gelombang elektromagnetik-- masih terdapat medan elektromagnetik-nya yang kekuatannya tergantung pada resultan dari interferensi

berkas gelombangnya. Fenomena pembelokan tajam di sekitar ujung penghalang yang disebut dengan *difraksi* ini, dapat diperjelas pada gambar 2.2.

Difraksi atau penghamburan dapat terjadi jika gelombang radio menyinggung permukaan obyek *obstacle* / penghalang. Besar rugi difraksi bervariasi tergantung jenis penghalang yang secara umum digolongkan atas tiga type yaitu : permukaan halus (*smooth earth*), permukaan tajam (*knife edge*) dan permukaan tumpul melengkung (*rounded*).

#### □ Pengaruh permukaan halus

Permukaan bumi bisa juga menjadi obstacle jika jarak antena pemancar dan penerima relatif jauh. Rugi difraksi oleh halangan permukaan bumi ditentukan oleh admitansi permukaan bumi ( $K$ ) yang tergantung pada jenis polarisasi gelombang sinyal carrier.

Untuk polarisasi horizontal, harga  $K$  didefinisikan sebagai berikut :

$$K_h = 1,941 \times 10^{-3} \cdot (k \cdot f)^{-1/3} \cdot [(\epsilon_r - 1)^2 + (18\sigma / f)^2] \quad (2.4)$$



Gambar 2.2  
Difraksi Pada Puncak Penghalang



$$K_r = K_h [\epsilon_r^2 + (18\sigma / f)^2]^{1/2} \quad (2.5)$$

dimana :

$K_h$  = admitansi permukaan bumi untuk polarisasi horizontal

$K_v$  = admitansi permukaan bumi untuk polarisasi vertikal

$k$  = faktor K (lihat rugi refraksi)

$f$  = frekuensi kerja

$\epsilon_r$  = permitivitas relatif jenis permukaan bumi

$\sigma$  = konduktifitas permukaan bumi

Jika harga admitansi permukaan bumi  $K$  kurang dari 0,001 maka karakteristik kelistrikan permukaan bumi dapat diabaikan, sehingga rugi difraksinya dapat pula diabaikan. Namun untuk harga  $K > 0,001$  maka rugi difraksi harus diperhitungkan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$L_{diff} = F(X) + G(Y_1) + G(Y_2) \quad (2.6)$$

$F(X)$  diperoleh dari :

$$F(X) = 11 + \log X - 17,6X \quad (2.7)$$

dimana :

$$X = 0,064 \beta d [f / k^2]^{1/3}$$

$$\beta = \frac{[1 + 1,6K^2 + 0,75K^4]}{[1 + 4,5K^2 + 1,35K^4]}$$

Untuk polarisasi horizontal (pada semua frekuensi) dan untuk polarisasi vertikal pada frekuensi 20 MHz di atas daratan atau pada frekuensi > 300 MHz di atas permukaan laut,  $\beta$  biasanya diambil = 1.

Sedangkan nilai  $G(Y_1)$  dan  $G(Y_2)$  dihitung berdasarkan nilai  $Y$  yang ditentukan oleh tinggi antena pemancar  $h_1$  dan penerima  $h_2$ .

$$Y_{1,2} = 0,05179 \cdot h_{1,2} \cdot \beta \cdot [f^2 / k]^{1,3} \quad (2.8)$$

$G(Y_1)$  untuk pemancar dengan harga  $Y_1$  dan  $G(Y_2)$  untuk penerima dengan harga  $Y_2$ .

Untuk  $Y > 2$  :

$$G(Y) = 17,6[Y - 1,1]^{1,2} - 5 \log(Y - 1,1) - 8 \quad (2.9)$$

Untuk  $10K < Y < 2$

$$G(Y) = 20 \log(Y + 0,1Y^{1,3}) \quad (2.10)$$

Untuk  $K/10 < Y < 10K$

$$G(Y) = 2 + 20 \log K + 9 \log(Y / K) \cdot [(\log(Y / K) + 1)] \quad (2.11)$$

Untuk  $Y < K/10$

$$G(Y) = 20 + 20 \log K \quad (2.12)$$

dengan :

$L_{\text{gnt}}$  = rugi difraksi permukaan halus [dB]

$d$  = panjang lintasan [km]

$X$  = panjang lintasan ternormalisasi

$h_1$  dan  $h_2$  = tinggi antena pemancar dan penerima [m]

$Y$  = tinggi antena ternormalisasi

Untuk harga  $\sigma$  dapat dilihat pada tabel 2.3 dan  $\epsilon_r$  dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\epsilon_r = 50 \sigma^{1,5} \quad (2.13)$$

#### □ Pengaruh permukaan tajam

Besarnya harga rugi difraksi akibat permukaan tajam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L(v) = 6,4 + 20 \log[(v + 1)^{1,2} + v] \quad [\text{dB}] \quad (2.14)$$

**Tabel 2.3**  
Range dari Konduktifitas Permukaan Bumi

Tipe Permukaan	Konduktifitas [S/m]
Air laut	4 – 5
Tanah sangat lembab	$10^{-2} - 10^{-1}$
Air segar	$3 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-2}$
Tanah berpasir; tanah berbukit dengan iklim sedang	$10^{-3} - 10^{-2}$
Tanah kering sedang; batu cadas; pasir; dan kota ukuran menengah	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-3}$
Tanah sangat kering; bukit granit di daerah dingin; area industri	$10^{-4} - 10^{-3}$
Glaser di pegunungan; es kutub; pegunungan tinggi	$10^{-5} - 10^{-4}$

v dapat dihitung dari salah satu persamaan di bawah :

$$v = h \left[ \frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \right]^{1/2} \quad (2.15)$$

$$v = \theta \left[ \frac{2}{\lambda \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \right]^{1/2} \quad (2.16)$$

$$v = \left[ \frac{2 \cdot h \cdot \theta}{\lambda} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

$$v = \left[ \frac{2 \cdot d \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2}{\lambda} \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

dimana :

h = tinggi puncak penghalang di atas garis lurus penghubung 2 antena

$d_1$  dan  $d_2$  = jarak ke dua antena ke obstacle

$\theta$  = sudut difraksi [rad]



$\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  = sudut antara puncak penghalang dengan garis lurus penghubung dua antenna

#### □ Pengaruh permukaan tumpul

Besarnya rugi difraksi dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$L(r) = L(v) + T(\rho) + Q(X) \quad (2.19)$$

$L(v)$  dapat diperoleh dari persamaan atau gambar pada pembahasan rugi difraksi akibat pengaruh permukaan tajam di atas dengan harga  $v$  sebagai berikut :

$$v = [2 \sin(\theta/2)] \cdot [2(d_a + R\theta/2)(d_b + R\theta/2)/(\lambda \cdot d)]^{1/2} \quad (2.20)$$

dimana :

$\lambda$  = panjang gelombang

$d_a$  dan  $d_b$  = jarak antenna ke tiap permukaan

$R$  = jari-jari efektif permukaan bumi ( $\pm 8500$  km)

Untuk harga  $T(\rho)$  dicari dengan perhitungan :

$$T(\rho) = 7.2\rho - 2\rho^2 + 3.6\rho^3 - 0.8\rho^4 \quad (2.21)$$

dengan :  $\rho^2 = [(d_a + d_b)/(d_a \times d_b)] \cdot [(\pi \cdot R / \lambda)^{1/3} \cdot 1/R]^{-1}$

Sedangkan untuk harga  $Q(X)$  diperoleh dengan rumusan :

$$Q(X) = \begin{cases} T(\rho) \cdot X / \rho & \text{untuk } -\rho \leq X < 0 \\ 12.5X & \text{untuk } 0 \leq X < 4 \\ 12X - 6 - 20\log X & \text{untuk } X > 4 \end{cases} \quad (2.22)$$

dengan :

$$X = [\mu R / \lambda]^{1/3} \cdot \theta$$

$$\approx [(\mu/2)^{1/2} \cdot v \cdot \rho] \quad \text{jika } \theta \leq 1$$

### □ Fresnel-zone

Fenomena difraksi menyebabkan gangguan yang cukup berarti di penerima oleh karena itu pada propagasi line-of-sight, harus diupayakan seluruh penghalang berada pada jarak tertentu dari garis *direct path*. Daerah seperti elips yang harus bebas penghalang ini disebut *Fresnel-zone*.

Fresnel-zone dapat ditentukan berdasarkan rumusan sebagai berikut :

$$R_n = 17,32 \times \left[ \frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d} \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

Dimana :

$R_n$  = jari-jari Fresnel-zone ke-n [m]

$n = 1, 2, 3, \dots$

$d_1$  = jarak dari pemancar ke penghalang

$d_2$  = jarak dari penerima ke penghalang

$d$  = jarak antara pemancar dan penerima

$f$  = frekuensi kerja [GHz]

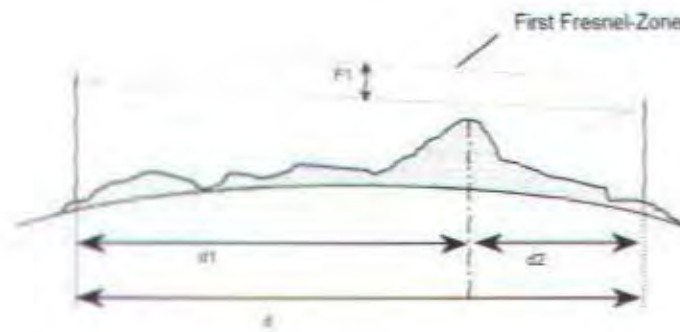
Secara umum, untuk memperoleh transmisi dalam kondisi free-space maka sepanjang lintasan propagasi harus bebas halangan pada daerah *first Fresnel-zone* yaitu  $R_n$  untuk  $n=1$ . Sehingga persamaan (2.23) menjadi :

$$F_1 = 17,32 \times \left[ \frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d} \right]^{1/2} \quad (2.24)$$

dimana :

$F_1$  = first Fresnel-zone [m]

Jika pada first Fresnel-zone masih terdapat halangan, maka rugi difraksi yang akan dialami dapat dihitung sebagai berikut :



Gambar 2.3  
First Fresnel-zone

$$L_{diff} = -20 h / F_1 + 10 \quad (2.25)$$

dan jika permukaan tanah dianggap mendatar, maka :

$$L_{diff} = -25 h / F_1 + 15 \quad (2.26)$$

dimana :

$L_{diff}$  = rugi difraksi [dB]

$h$  = tinggi halangan di first Fresnel-zone [m]

$F_1$  = first Fresnel-zone [m]

Pada suatu kasus di mana penghalang terlalu tinggi sehingga tidak ada sinyal sama sekali di daerah bayangan maka peristiwa ini disebut *blocking*. Blocking pada sistem komunikasi bergerak sering dialami karena penerima sering tertutup oleh gedung atau gunung. Daerah bayangan seperti ini sering pula disebut *blank spot*.

## 2.2 SISTEM KA-BAND DI BEBERAPA DAERAH

Alokasi frekuensi Ka-Band ini telah cukup lama diteliti unjuk kerjanya di Eropa, USA dan Jepang. Bebeapa model prediksi curah hujan dan atenuasinya



telah diperkenalkan dalam menggambarkan karakteristik Ka-Band. Oleh karena itu sistem Ka-Band telah diimplementasikan untuk mendukung komunikasi broadband.

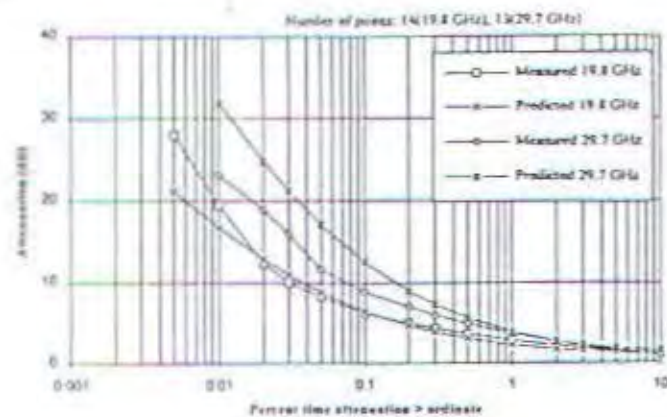
Keleluasaan bandwidth dan kecepatan transmisi yang ditawarkan oleh sistem Ka-Band telah mendorong diluncurkannya satelit-satelit multimedia yang bekerja pada alokasi frekuensi Ka-Band (20/30 GHz) untuk memenuhi demand yang cukup pesat terutama dalam layanan *Very Small Apperture Terminals* (VSAT) dan *Ultra Small Apperture Terminals* (USAT).

Gambar 2.4 – 2.5 di bawah ini menampilkan hasil beberapa kajian & penelitian empiris terhadap implementasi sistem Ka-Band di beberapa tempat baik untuk link satelit maupun link terestrial dalam persentasi waktu atenuasi.

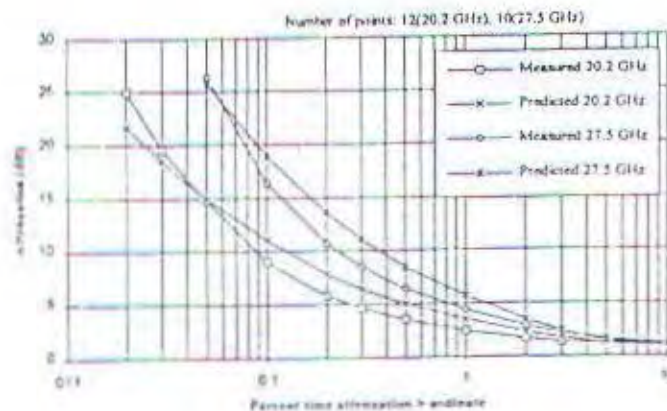
**Tabel 2.4**  
**Perbandingan Prediksi Slant-Path Attenuation dengan Data Terukur <sup>5</sup>**

Site	Latitude	Altitude (m)	Freq. (GHz)	Elevation angle (deg)	M (mm)	$\beta$	Measured $R_{SLP}$ (mm/h)	R-H $R_{SLP}$ (mm/h)
<i>Eindhoven (NL)</i>	51,45	15	19,77 29,65	26,79	770	0,1	31,0	33,3
<i>Oklahoma (USA)</i>	35,23	500	20,18 27,5	48,99	843	0,36	-	78,0
<i>Blacksburgh (USA)</i>	37,23	646	19,77 29,65	13,93	965	0,2	42	63
<i>Surabaya (Indonesia)</i>	-7,3	20	11,198	20,0	2000	0,7	120,0	125,0

<sup>5</sup> Dissanayake, et al. : *Prediction Model Along Earth-Satellite Paths*, IEEE Transaction On Antennas and Propagation, vol. 45 no. 10, October, 1997, hal 1553.



Gambar 2.4  
Distribusi Atenuasi pada 19,8 dan 29,7 GHz (Eindhoven, Netherland) <sup>6</sup>



Gambar 2.5  
Distribusi Atenuasi pada 20,2 dan 27,5 GHz (Oklahoma, USA) <sup>7</sup>

### 2.3 TEORI STATISTIKA

Metode kuantitatif pembuatan model, analisis dan evaluasi merupakan piranti mutlak dalam bidang rekayasa modern. Setiap model yang dibuat selalu berdasarkan atas asumsi atas kondisi yang ideal, oleh karena itu informasi yang

<sup>6</sup> Ibid, hal 1554.

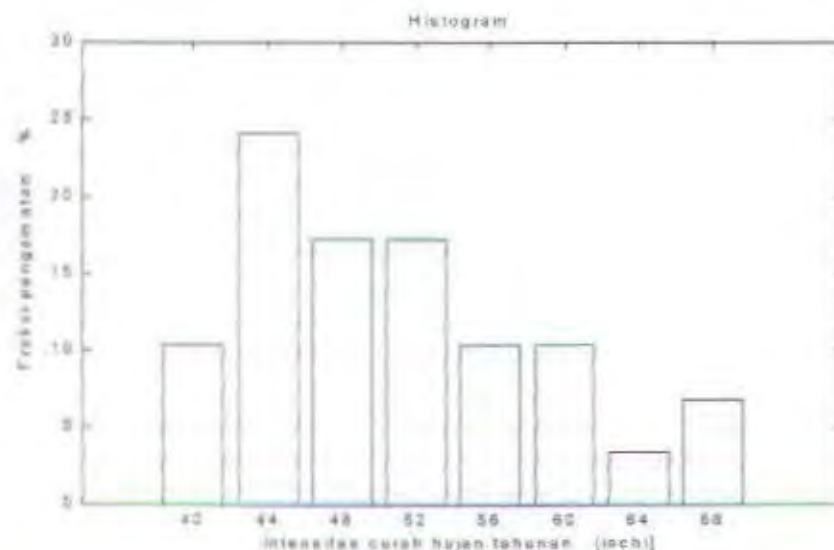
<sup>7</sup> Ibid, hal 1555.

diperoleh dari model kuantitatif maksimal hanya bisa mendekati keadaan yang sebenarnya.

Model statistik adalah termasuk model kuantitatif. Model statistik yang paling mendekati keadaan sebenarnya sering digunakan untuk desain dan perencanaan sebuah sistem. Model statistik diperoleh dari memperhitungkan probabilitas kemunculan harga-harga pada sebuah variabel atau parameter sistem yang diukur pada kondisi *long term*.

### 2.3.1 Histogram

Karakteristik data eksperimen biasanya digambarkan secara grafis dalam bentuk *histogram* atau *diagram frekuensi*, seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.6. Histogram atau diagram frekuensi menggambarkan frekuensi relatif dari berbagai macam pengamatan atau pengukuran.



Gambar 2.6  
Histogram dari Intensitas Curah Hujan (Esopus Creek, New York)<sup>8</sup>

<sup>8</sup> H-S Alfredo, *Konsep-konsep Probabilitas dalam Perencanaan dan Perancangan Rekayasa*, jilid I, Erlangga, Jakarta, 1992, hal 2.



Histogram adalah pengelompokan data yang dibuat dengan cara membagi absis pengamatan dalam beberapa rentang atau interval yang dapat menampung nilai terkecil hingga terbesar yang muncul. Kemudian jumlah data pada setiap selang interval digambarkan dalam grafik batang yang mewakili jumlah pengamatan dalam selang yang bersangkutan. Alternatif tampilan histogram bisa dalam bentuk persentasi atau perbandingan terhadap jumlah total pengamatan dalam semua selang.

**Tabel 2.5**  
**Total Intensitas Hujan Rata-rata**  
**Tiap Bulan di Surabaya <sup>9</sup>**

	1988	1989	1990
	mm/jam	mm/jam	mm/jam
JAN	24,35714	14,68824	14,6087
PEB	9,746667	17,25909	9,335714
MAR	10,48667	12,4625	12,22632
APR	22,16	7,158333	4,627273
MEI	9,41	15,42	9,8375
JUN	5,225	5,4	0,555556
JUL	—	4,733333	3,485714
AUG	10,05	5,7	—
SEP	—	0,5	7,4
OKT	4,26	9,15	—
NOP	6,807143	6,01	6,614286
DES	10,25455	7,92	11,25

Kelas Interval	Jumlah	Fraksi Pengamatan
0 - 5	10	0,277777778
5 - 10	14	0,388888889
10 - 15	8	0,222222222
15 - 20	2	0,055555556
20 - 25	2	0,055555556
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>1</b>

<sup>9</sup> Badan Meteorologi & Geofisika Surabaya

Contoh di atas adalah data intensitas curah hujan di Surabaya antara tahun 1988 – 1990 yang ditampilkan dalam Tabel 2.5 dapat juga ditampilkan dalam bentuk histogram. Data tersebut di kelompokkan dalam 5 kelas interval, namun untuk memperbagus hasilnya, bisa juga mengacu pada mean dan standar deviasi. Fraksi pengamatan diperoleh dengan cara membagi banyaknya data dalam masing-masing kelas interval dengan keseluruhan data.

### 2.3.2 Mean dan Standar Deviasi

Analisis statistik secara umum biasanya dinyatakan dalam fungsi rata-rata (mean) dan deviasi standar (simpangan baku). Mean,  $E(X)$  didefinisikan sebagai jumlah total data dibagi dengan banyaknya pengamatan, secara matematis dinyatakan sebagai berikut :

$$E(X) = \sum_{\text{semua } x_i} x_i p_x(x_i) \quad (2.27)$$

Simpangan baku diturunkan dari parameter yang disebut varians. Varians,  $Var(X)$  adalah besaran yang memberikan ukuran mengenai seberapa dekat nilai-nilai yang terdata terhadap nilai sentral apakah memusat atau menyebar yang secara matematis dinyatakan :

$$Var(X) = E(X^2) - \mu_x^2 \quad (2.28)$$

sedangkan simpangan baku,  $\sigma$  dinyatakan dalam :

$$\sigma_x = \sqrt{Var(X)} \quad (2.29)$$

### 2.3.3 Fungsi Distribusi Kumulatif

Fungsi distribusi kumulatif atau *Cumulative Distribution Function* (CDF),  $F_X(x)$  adalah akumulasi nilai probabilitas berturut-turut dari keseluruhan data yang bernilai lebih kecil, yang dinyatakan :

$$F_x(x) = P(X \leq x) = \sum_{\text{semua } x_i \leq x} P(X = x_i) = \sum_{\text{semua } x_i \leq x} p_x(x_i) \quad (2.30)$$

Distribusi kumulatif empiris (*Empiric Distribution Function*, EDF) adalah CDF yang diturunkan dari data empiris/pengukuran. Untuk memperoleh distribusi kumulatif dari suatu data pengukuran, maka harus ditentukan dulu skala kelas interval yang sesuai untuk mengelompokkan data menurut harganya. Pengelompokan tersebut bertujuan untuk mengetahui probabilitas tiap kelas interval.

Pengelompokan ini sebaiknya mempertimbangkan nilai deviasi baku dan rentang dinamik data pengukuran. Probabilitas dari masing-masing kelas interval diperoleh dengan cara membagi frekuensi kelas interval yang dicari dengan banyaknya data yang diambil yang dirumuskan sebagai berikut :

$$P_x(a \leq X < b) = \frac{f_{a,b}}{f_{total}} \quad (2.31)$$

dimana :

$f_{a,b}$  = banyaknya data di kelas interval dengan nilai antara a dan b.

$f_{total}$  = banyak data secara keseluruhan.

Selanjutnya EDF dapat ditentukan dengan cara menjumlahkan secara akumulatif probabilitas dari tiap-tiap kelas interval, sesuai dengan rumus :

$$F_x(x) = P_x(X \leq x) \quad (2.32)$$

Jika dinyatakan dalam persentase waktu menjadi :

$$F_x(x < X) = (1 - F_x(x)) \times 100\% \quad (2.33)$$

### 2.3.4 Fungsi Kerapatan Probabilitas

Fungsi kerapatan probabilitas atau *Probability Density Function* (PDF) adalah fungsi yang menyatakan probabilitas kemunculan suatu data,  $P(X)$  dengan nilai  $x$  tertentu. Sehingga untuk selang waktu tertentu  $(a,b]$  secara matematis PDF dinyatakan :



$$P(a < X \leq b) = \int_a^b f_x(x) dx \quad (2.34)$$

oleh karena itu :

$$f_x(x) = \frac{dF_x(x)}{dx} \quad (2.35)$$

### 2.3.5 Root Mean Square Error

Data pengukuran dapat dibandingkan terhadap nilai yang diprediksikan oleh suatu model dengan cara :

$$e_i = \frac{A_{pi} - A_{mi}}{A_{mi}} \times 100\% \quad (2.36)$$

dimana :

$e$  = presentase error prediksi

$A_p$  = harga prediksi

$A_m$  = harga pengukuran

$i$  = persentasi probabilitas dimana probabilitas error diperkirakan

*Root Mean Square Error* (RMS Error) adalah ukuran yang dipakai untuk tolok ukur kecocokan antara model prediksi dengan hasil pengukuran.

$$e_{rms} = \sqrt{\langle e_i^2 \rangle} \quad (2.37)$$

$\langle e_i^2 \rangle$  = kuadrat rata-rata  $e_i$

## 2.4 MODEL PREDIKSI

Dalam kaitan penelitian dan pengembangan penggunaan Ka-Band telah diperkenalkan beberapa model prediksi baik untuk laju curah hujan maupun atenuasinya. Beberapa model yang terkenal cukup akurat antara lain Two Component, Rice Holmberg dan Dissanayake-Allnutt-Haidara (DAH).

### 2.4.1 Model Two-Component

Model prediksi ini diperkenalkan oleh R.K. Crane (1982) untuk menentukan probabilitas dimana sebuah harga atenuasi spesifik telah terlampaui dengan memisahkan pengaruh parameter cell dan debris.

Ada beberapa langkah yang dideskripsikan dalam model ini, yaitu : <sup>10</sup>

1. Menentukan daerah iklim hujan menurut model global [Crane, 1980] sesuai dengan tabel 2.6.
2. Menentukan jarak path untuk cell dan debris.

□ Slanth path (earth – satellite) :

$$\text{Untuk cell : } D_c = \frac{(H_c - H_0)[2 - 2(H_c - H_0)/8500]}{\tan \theta + [\tan^2 \theta + (H_c - H_0)/8500]^{1/2}} \quad [\text{km}] \quad (2.38)$$

$$\text{Dimana : } H_c = 3,1 - 1,7 \sin [2(\Delta - 45^\circ)] \quad \text{km}$$

$$\text{Untuk debris : } D_D = \frac{(H_D - H_0)[2 - 2(H_D - H_0)/8500]}{\tan \theta + [\tan^2 \theta + (H_D - H_0)/8500]^{1/2}} \quad [\text{km}] \quad (2.39)$$

$$\text{Dimana : } H_D = 2,8 - 1,9 \sin [2(\Delta - 45^\circ)] \quad \text{km}$$

Dan  $\theta$  adalah sudut elevasi slanth path,  $\Delta$  adalah latitude terminal bumi (derajat) dan  $H_0$  adalah tinggi terminal bumi (km).

□ Terrestrial path :

$$D_c = D_D = D \quad (\text{km}) \text{ yaitu panjang path terrestrial.} \quad (2.40)$$

3. Menentukan harga atenuasi reduksi untuk perhitungan probabilitas.

Untuk slanth path  $A = A_s \cos \theta$ , dan untuk path terrestrial  $A = A_T$ , dimana  $A_s$  atau  $A_T$  adalah path atenuasi yang diacu.

<sup>10</sup> R. K. Crane, *A Two-component rain model for the prediction of attenuation statistics*, Radio Science, vol 17, no. 6, Nov-Dec 1982, hal 1379.

**Tabel 2.6**  
Two-Component Model Parameters untuk setiap Daerah Iklim Hujan <sup>11</sup>

Rain Zone	Cell Parameters		Debris Parameters			R for $P(r \geq R) = 0,01\%$ mm/h
	$P_c$ (%)	$R_c$ (mm/h)	$P_D$ (%)	$R_D$ (mm/h)	$\sigma_D$	
A	0,0096	11,3	3,0	0,20	1,34	10
B <sub>1</sub>	0,016	15,2	9,0	0,24	1,26	15
B	0,018	19,6	7,0	0,32	1,23	18
B <sub>2</sub>	0,019	23,9	7,0	0,40	1,19	22
C	0,023	24,8	9,0	0,43	1,15	26
D <sub>1</sub>	0,030	25,7	5,0	0,83	1,14	36
D <sub>2</sub>	0,037	27,8	5,0	1,08	1,19	489
D <sub>3</sub>	0,100	15,0	5,0	1,38	1,30	62
E	0,120	29,1	7,0	1,24	1,41	100
F	0,016	20,8	3,0	0,35	1,41	10
G	0,070	39,1	9,0	1,80	1,19	95
H	0,060	42,1	9,0	1,51	1,60	245

4. Menghitung laju hujan efektif untuk menemukan harga atenuasi reduksi.

$$L_c = \min (D_c - W_c) \quad (2.41)$$

$$C = \frac{1 + 0,7(D_c - W_c)}{1 + (D_c - W_c)} \quad \text{untuk } D_c > W_c \quad (2.42)$$

$$C = 1 \quad \text{untuk } D_c \leq W_c$$

$$R' = (C A / k L_c)^{1/\alpha} \quad \text{mm/h} \quad (2.43)$$

Dimana k dan  $\alpha$  adalah koefisien dari hukum ketergantungan daya dari atenuasi spesifik  $\gamma = k R'^{\alpha}$  pada laju hujan.

$$W_c \approx 5^{1/3} = 2,2 \text{ km} \quad (2.44)$$

$D_c$  adalah panjang lintasan dan A adalah harga atenuasi reduksi yang dicari.

$$W'_0 = 29,7^{[(\alpha / (\alpha - 0,34))]} k^{[(0,34 / (\alpha - 0,34))]} A^{[(0,34 / (\alpha - 0,34))]} \text{ km} \quad (2.45)$$

<sup>11</sup> Ibid, hal1376.



$$W_D = \min (W_D, D_D) \quad (2.46)$$

$$R^* = \left( \frac{A}{kW_D^*} \right)^{1/n} \quad (2.47)$$

$$W_D^* = 29,7 (R^*)^{-0,34} \quad (2.48)$$

Dimana  $D_D$  adalah panjang path debris. Laju hujan efektif-nya adalah  $R^*$  untuk cells dan  $R^*$  untuk debris.

5. Menghitung probabilitas atenuasi spesifik  $A$  telah terlampaui.

$$P(a>A) = P_C(1+D_C/W_C)e^{-R/R_C} + P_D(1+D_D/W_D)\eta \left( \frac{\ln R^* - \ln R_D}{\sigma_D} \right) \% \quad (2.49)$$

Dimana parameter distribusi untuk daerah iklim hujan  $P_C$ ,  $R_C$ ,  $P_D$ ,  $R_D$  dan  $\sigma_D$  diperoleh dari tabel 2.6.  $\ln$  adalah logaritma natural dan  $\eta$  adalah PDF normal.

#### 2.4.2 Model Rice-Holmberg

Model prediksi R-H diperkenalkan tahun 1973, memerlukan data akumulasi curah hujan tahunan dan bagiannya yang disebabkan aktifitas badai petir sebagai parameter input. Model ini menyediakan laju hujan per menit rata-rata  $R$  (mm/h) terlampaui untuk persentase tertentu tahun rata-rata yang dinyatakan dalam :

$$P(r > R) = \frac{M}{87,66} \left\{ 0,03\beta e^{-0,03R} + 0,2(1-\beta) \times [e^{-0,258R} + 1,86e^{-1,83R}] \right\} \quad (2.50)$$

dimana

$M$  = akumulasi tahunan rata-rata dari laju curah hujan (mm).

$\beta$  = komponen badai petir dari  $M$  yang dinyatakan dengan

$$\beta = \beta_0 [0,25 + 2e^{-0,35(1+0,125M)/U}] \text{ dan}$$

$$\beta_0 = 0,03 + 0,97e^{-5\exp(-0,004M)}$$

dimana  $U$  adalah jumlah rata-rata badai petir terjadi selama tahun rata-rata dan  $Mm$  adalah presipitasi bulanan tertinggi yang terjadi dalam kurun 30 tahun.

Data input yang dibutuhkan ini dapat diperoleh dari sumber data meteorologi dan peta regional. Model R-H ini banyak memberikan hasil yang memuaskan pada berbagai daerah penelitian di dunia. Untuk memperoleh statistik yang stabil dianjurkan untuk mengambil periode pengukuran selama 5 tahun karena variabilitas intensitas hujan dari tahun ke tahun di sebuah daerah dapat mencapai 30 %.

Faktor badai petir adalah parameter empiris yang diturunkan dari perbandingan jumlah rata-rata banyaknya hari badai per tahun dengan curah hujan bulanan maksimum. Jika data ini tak tersedia bisa mengasumsikan dengan data yang terdapat pada tabel 2.4.

#### 2.4.3 Model Dissanayake-Allnutt-Haidara

Model D-A-H diperkenalkan pada tahun 1997. Prosedur penentuan model ini telah diuji oleh ITU-R dan dinyatakan paling akurat diantara model lainnya yang telah diuji sebelumnya. Model ini sebenarnya ditujukan untuk aplikasi link satelit, namun dapat diadopsikan dalam aplikasi link terrestrial.

Model ini memerlukan data input :

- ♦ latitude stasiun bumi  $\phi$ , sudut elevasi  $\theta$  dan sudut polarisasi  $\xi$  masing-masing dalam satuan derajat.
- ♦ Altitude stasiun bumi dari permukaan laut  $h_s$  (km).
- ♦ Laju hujan rata-rata tahunan untuk 0,01 %  $R_{0,01}$  (mm/h).
- ♦ Persentase probabilitas terlampaui dimana atenuasi dihitung  $p$
- ♦ Frekuensi  $f$  (GHz)
- ♦ Jari-jari bumi efektif  $R_e = 8500$  km.

Adapun langkah-langkah pengerjaan dalam model ini adalah :

1. Tinggi beku selama hujan  $h_{fr}$  (km) dihitung dari nilai mutlak latitude stasiun bumi  $\phi$  (derajat) yaitu :

$$h_{fr} = 5,0 \quad \text{untuk } 0^\circ \leq \phi < 23^\circ \quad (2.51)$$

$$h_{fr} = 5,0 - 0,075 (\phi - 23), \quad \text{untuk } \phi \geq 23^\circ$$

2. Panjang slanth-path  $L_s$  di bawah tinggi beku diperoleh dari

$$L_s = (h_{fr} - h_s) / \sin \theta \quad (\text{km}) \quad (2.52)$$

Untuk  $\theta$  kurang dari  $5^\circ$ , perkiraan panjang path yang lebih akurat dapat ditentukan dengan cara :

$$L_s = \frac{2(h_{fr} - h_s)}{\left[ \sin^2 \theta + \frac{2(h_{fr} - h_s)}{R_e} \right]^{1/2} + \sin \theta} \quad (\text{km}) \quad (2.53)$$

3. Proyeksi horizontal  $L_g$  dari slanth path diperoleh dari :

$$L_g = L_s \cos \theta \quad (\text{km}) \quad (2.54)$$

4. Menentukan harga  $R_{0,01}$  (mm/h) dan menghitung atenuasi spesifik  $\gamma$  (dB/km) dengan memakai koefisien dependen frekuensi  $k$  dan polarisasi  $\alpha$

$$\gamma = k (R_{0,01})^\alpha \quad (\text{dB/km}) \quad (2.55)$$

5. Menghitung faktor pengaturan path horizontal  $rh_{0,01}$  untuk 0,01% waktu

$$rh_{0,01} = \frac{1}{1 + 0,78 \sqrt{\frac{L_g \gamma}{f}} - 0,38 [1 - \exp(-2L_g)]} \quad (2.56)$$

6. Menghitung panjang path hujan  $L_r$  (km) yang melewati hujan.

$$L_r = \frac{L_g rh_{0,01}}{\cos \theta} \quad \text{untuk } \zeta > \theta \quad (2.57)$$



$$L_r = \frac{h_p - h_s}{\sin \theta} \quad \text{untuk } \zeta \leq \theta$$

$$\text{dimana } \zeta = \tan^{-1} \left( \frac{h_p - h_s}{L_r \cdot r h_{0,01}} \right)$$

7. Menghitung faktor pengaturan vertikal  $rv_{0,01}$  untuk 0,01 % waktu

$$rv_{0,01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left[ 31(1 - e^{-\theta(1+\chi)}) \sqrt{\frac{L_r \chi}{f^2}} - 0,45 \right]} \quad (2.58)$$

$$\text{dimana } \chi = 36 - |\phi| \quad , \quad \text{untuk } |\phi| < 36^\circ$$

$$\chi = 0 \quad , \quad \text{untuk } |\phi| \geq 36^\circ$$

8. Panjang lintasan efektif dihitung dengan cara :

$$L_e = L_r \cdot rv_{0,01} \quad (\text{km}) \quad (2.59)$$

9. Atenuasi terlewati untuk 0,01 % dari tahun rata-rata diperoleh dari :

$$A_{0,01} = \gamma \cdot L_e \quad (\text{dB}) \quad (2.60)$$

10. Atenuasi untuk range 0,001 % - 10,0 % dari tahun rata-rata diestimasikan sebagai berikut :

$$A_p = A_{0,01} \left( \frac{p}{0,01} \right)^{-1,055 + 0,033 \ln p - 0,045 \ln A_{0,01} - 2,5 \ln (1 - p)} \quad (2.61)$$

dimana  $p$  adalah persentase probabilitas yang dicari dan  $z$  ditentukan dengan cara sebagai berikut :

untuk  $p \geq 1\%$  ,  $z = 0$  dan

untuk  $p < 1\%$  maka

$$z = 0 ,$$

$$\text{untuk } |\phi| \geq 36^\circ$$

$$z = -0,005(|\phi| - 36) ,$$

$$\text{untuk } \theta \geq 25^\circ \text{ dan } |\phi| < 36^\circ$$

$$z = -0,005(|\phi| - 36) + 1,8 - 4,25 \sin \theta , \quad \text{untuk } \theta < 25^\circ \text{ dan } |\phi| < 36^\circ$$

## BAB III

### PROPAGASI LOS LINK KA-BAND DI SURABAYA

Proyek penelitian propagasi Ka-Band antara Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang bekerja sama dengan Eindhoven University of Technology (EUT) Netherland adalah merupakan kelanjutan dari proyek serupa sebelumnya yaitu propagasi Ku-Band (14/12 GHz). Penelitian ini diperlukan karena data karakteristik Ka-Band di daerah tropis sangat minim atau bahkan tidak ada sama sekali.

#### 3.1 DESAIN SISTEM

Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui karakteristik Ka-Band dalam sistem propagasi line-of-sight link dengan frekuensi kerja 28 GHz. Alat pemancar diletakkan di tower Indosat setinggi 60 m di atas permukaan laut dan antena penerima diletakkan di atap gedung perpustakaan ITS (lantai 6) setinggi  $\pm 30$  m dengan jarak 5,73 kilometer.

Sub-sistem pemancar dengan frekuensi kerja 28 GHz terdiri dari thermally stabilized crystal oscillator, phase locked loop, dan frequency multiplier memakai antenna parabolic dengan gain 33 dB untuk menghasilkan sinyal EIRP 47 dBm.

Sub-sistem penerima terdiri dari antena parabolic 21 cm, low noise RF front end, IF path dan PLL Receiver yang mempunyai range dinamik 80 dB dengan resolusi 0,1 dB. Sinyal output dari receiver diinputkan ke sub-sistem akuisisi data berbasis komputer untuk pemrosesan lebih lanjut.

Untuk mengukur curah hujan sebagai pembanding dominan dalam penelitian ini maka ditempatkan sebuah rain meter tipe tipping bucket yang



mencatat hujan lokal dengan kemampuan hingga 300 mm/h pada resolusi 2 mm/h di kedua lokasi tersebut. Pemasangan rain meter ini harus berada pada areal yang lapang guna menghindari masuknya air akibat terpercik atau terpantul dari dinding dan permukaan lainnya sehingga diperoleh data yang akurat.

Prinsip kerja rain meter ini adalah menampung air hujan pada sebuah kontainer ( $200 \text{ cm}^2$  pada alat ukur ini), kemudian meneteskan air tersebut pada sebuah bucket (2 cc), sehingga bucket berayun ke kiri dan ke kanan. Setiap pergerakan bucket tersebut akan diubah oleh sebuah optocoupler ke sinyal pulsa berlevel 5 Vdc analog. Sinyal ini kemudian diinputkan ke DC Processor dan selanjutnya ke chart recorder dan sub-sistem akuisisi data selanjutnya. Data curah hujan yang masuk pada software akuisisi data adalah berupa pulsa dengan lebar tip time sesuai dengan lama terjadinya hujan.

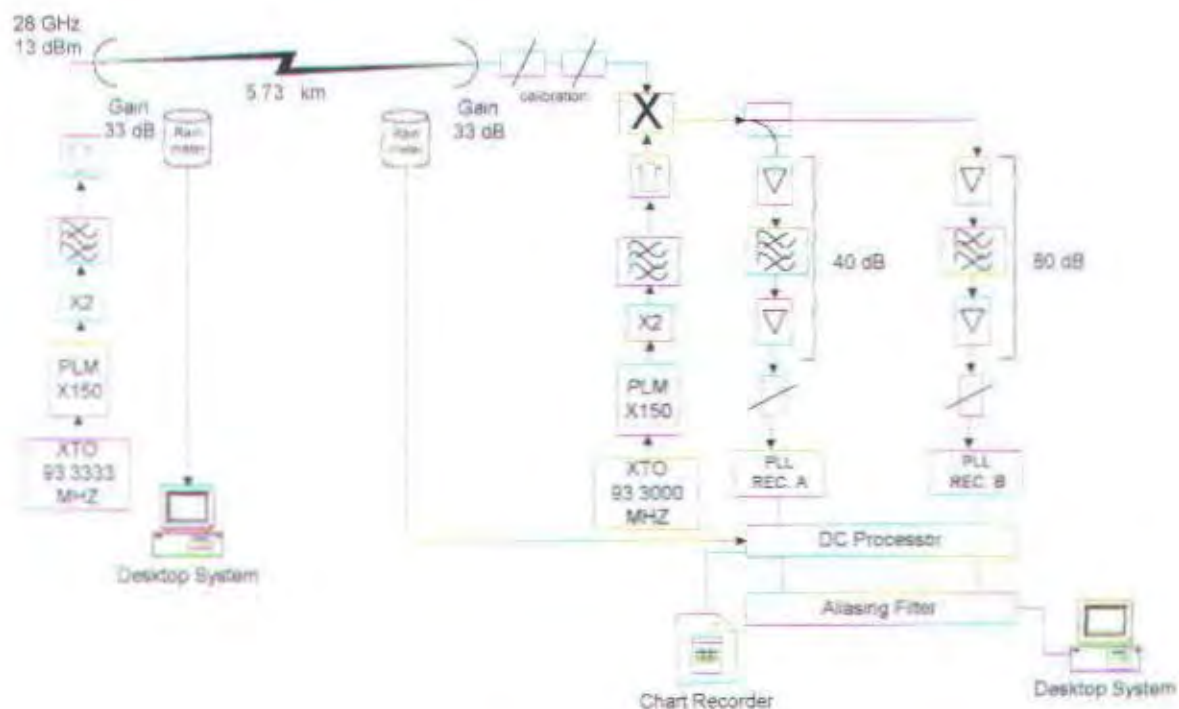
Sebelum dilakukan instalasi peralatan, diperlukan perhitungan untuk mengetahui apakah sistem telah memenuhi syarat untuk melakukan hubungan. Untuk itu diperlukan perhitungan link budget untuk mengetahui *Received Sinyal Level* (RSL) dan *Received Threshold Level* (RTL). RSL adalah level sinyal yang ditangkap oleh penerima dan RTL adalah batas level sinyal yang masih dapat diterima dengan baik. Penghitungan link budget ini mengacu pada faktor-faktor seperti jarak, frekuensi kerja, redaman eksternal dan internal peralatan dan dilakukan pada dua keadaan yaitu *downstream* dan *upstream*.

Pada keadaan downstream diperoleh RSL sebesar  $-97,22 \text{ dBm}$  dan RTL sebesar  $-120,80 \text{ dBm}$ . Sedangkan untuk upstream diperoleh RSL sebesar  $-114,08 \text{ dB}$  dan RTL sebesar  $-122,26 \text{ dB}$ . Dengan demikian sistem komunikasi terestrial Ka-Band dapat diterapkan pada kondisi tersebut karena harga RSL lebih besar dari pada harga RTL.



Setelah dilakukan instalasi dan uji coba maka terminal penerima telah dapat mencatat sinyal carrier secara terus-menerus mulai tanggal 9 September 1998 sampai sekarang. Penelitian ini pernah terhenti selama 6 bulan karena penggantian spare part dan kemudian dimulai kembali tanggal 15 Desember 1999. Dengan demikian jumlah data yang telah berhasil direkam adalah selama 14 bulan.

Blok diagram sistem ini ditunjukkan oleh gambar 2.1. Sistem penerima terdiri dari 2 buah *Phase Locked Loop* (PLL) Receiver yang mampu menerima sinyal loss sampai dengan 80 db secara linear. PLL "Rec. A" bekerja menerima sinyal secara linear hingga 40 dB dan jika sinyal telah melewati 40 dB maka akan direkam oleh PLL "Rec. B".



**Gambar 3.1**  
Blok Diagram Penelitian LOS Link Ka-Band di Surabaya



**Gambar 3.2**  
**Perangkat penelitian Ka-Band**

Sinyal 28 GHz dikuatkan antenna penerima sebesar 33 dB dan kemudian dikalibrasikan. Sinyal crystal osilator berfrekuensi 93,3000 MHz dikalikan 300 oleh frekuensi multiplier sehingga menghasilkan frekuensi 27,99 GHz. Sinyal 27,99 GHz ini kemudian diumpankan ke mixer untuk dicampur dengan gelombang 28 GHz sehingga diperoleh sinyal terima sebesar  $-71$  dBm dengan Intermediate Frekuensi 10 MHz. Selanjutnya sinyal diproses oleh 2 buah PLL receiver. Level sinyal analog yang diterima ini kemudian diteruskan ke DC Processor dan Filter Aliasing untuk disampling dengan rate 1 Hz dan hasilnya dicatat oleh software akuisisi data.

### **3.2 DATA AKUISISI**

Personal Computer yang dipakai untuk data akuisisi ini tidak memerlukan spesifikasi yang tinggi namun cukup menggunakan processor 286 AT dengan memori 4 MB. Sistem data akuisisi ini mencatat data tiap detik dan sebagai



perbandingan dipakai sebuah chart recorder yang mencatat grafik sinyal secara real time.

DC Processor berfungsi untuk memberikan level sinyal tegangan DC untuk setiap parameter yang akan diukur. DC Processor mempunyai dua output, salah satunya dihubungkan ke chart recorder sebagai perekam analog dan output yang lainnya terhubung ke filter aliasing. Setting tegangan DC ini harus sesuai dengan karakteristik IC DAS 8 yang digunakan oleh filter aliasing. IC DAS 8 ini sensitif terhadap level tegangan yang diukur.

Filter Aliasing berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital sehingga bisa direkam oleh komputer. Dengan 9 port/channel yang dimilikinya maka filter aliasing yang digunakan ini dapat mengakomodasi hingga 9 macam parameter yang akan diukur.

Perangkat lunak yang digunakan untuk akuisisi data ini menggunakan bahasa pemrograman Turbo Pascal dengan fasilitas deteksi even otomatis dan back tracking. Untuk penelitian ini parameter yang diakuisisi adalah pergeseran frekuensi, loss yang dicatat receiver A dan receiver B, test tegangan dan laju curah hujan.

Sistem Ka-Band yang digunakan dalam penelitian ini memerlukan kalibrasi ulang secara periodik pada perangkat PLL Receiver dan wave guidenya, oleh karena itu informasi offset dan amplifikasi tiap kanal harus diupdate setiap kalibrasi dilakukan. Informasi tentang offset dan konstanta lainnya disimpan dalam file bernama "idf.drp" seperti dalam Tabel 3.1.

Dengan demikian maka struktur raw data yang diakuisisi adalah berupa 10 kolom yang terdiri dari 9 kolom data dari 9 port yang tersedia dan 1 kolom untuk dummy load sinkronisasi. Raw data tersebut akan disimpan dengan nama



"data.drp" dalam format short integer 16 bites (2 Bytes). Tabel 3.2 menjelaskan setting konfigurasi port pada kondisi pengukuran terakhir.

**Tabel 3.1**  
**Contoh File idf.drp**

```

Begin time: 07:12:12 (HH:MM:SS).
Begin date: 09/11/98 (DD/MM/YY).
=====
      Ka-Band Propagation Experiment
      ITS-INDOSAT-EUT Surabaya, Indonesia.
      TUE Eindhoven, The Netherlands.
      Test configuration.          (c) PSS
=====
0 Device:          Frequency Deviation
Signal:            Delta F
OffSet:  -32.00  Ampl:  4.50
Dimension:                kHz
Detection: TRUE
Level:    5.00  Slope: 0.30/10sec
=====
1 Device:          LOS (A)
Signal:            LOS (A)
OffSet:  -10.00  Ampl: 10.00
Dimension:                dB
Detection: TRUE
Level:    3.00  Slope: 1.00/10sec
=====
2 Device:          LOS (B)
Signal:            LOS (B)
OffSet:   30.00  Ampl: 10.00
Dimension:                dB
Detection: TRUE
Level:   43.00  Slope: 0.00/10sec
=====
3 Device:
Signal:
OffSet:   0.00  Ampl:  0.00
Dimension:
Detection: TRUE
Level:    3.00  Slope: 0.00/10sec
=====
8 Device:          Rain Gauge
Signal:            Tipping Bucket
OffSet:  -5.00  Ampl:  1.00
Dimension:                Sec
Detection: FALSE
=====

```

**Tabel 3.2**  
**Kondisi Akhir Konfigurasi Port**

No . Port	Parameter	Dimension	Offset	Amplifi- cation
0	Frequency Deviation	KHz	-32	4,55
1	Loss Rec. A	dB	-92,00	10,00
2	Loss Rec. B	dB	40,00	10,00
3	Test Voltage	volt	-5,00	1,00
8	Rain Gauge	Second	-5,00	1,00

### 3.3 SOFTWARE ANALISIS DATA

Sistem akuisisi data yang digunakan dalam penelitian ini mencatat data setiap selang waktu 1 detik. Dengan demikian untuk setiap parameter pengukuran akan terkumpul sebanyak  $60 \times 60 \times 24 = 86400$  data perhari. Jika kapasitas setiap disket diasumsikan mampu menampung data selama 1 hari maka total data adalah sebesar  $86400 \times 10 \text{ port} \times 24 \text{ jam} = 20.736.000$  data / disket.

Keseluruhan data yang terkumpul diolah dengan menggunakan software pemrograman Matlab versi 5.2. Jumlah data yang sangat besar tersebut memerlukan manajemen memori yang efektif. Oleh karena itu untuk pemrosesan dengan kecepatan yang cukup memadai (standar yang dipakai penulis) adalah dengan menggunakan PC 233 MMX dengan SDRAM 32 MB.

Untuk mempercepat perhitungan maka data dari kanal/port yang tidak terpakai harus diabaikan termasuk juga data dummy pada kolom ke 10. Syntac atau perintah Matlab yang ditulis untuk hal tersebut adalah

```
[k,sum] = fread(fid,[10 inf],'int16');
k = k';
```

$$k = [k(:,1), k(:,2), k(:,3), k(:,9)];$$

Dimana :

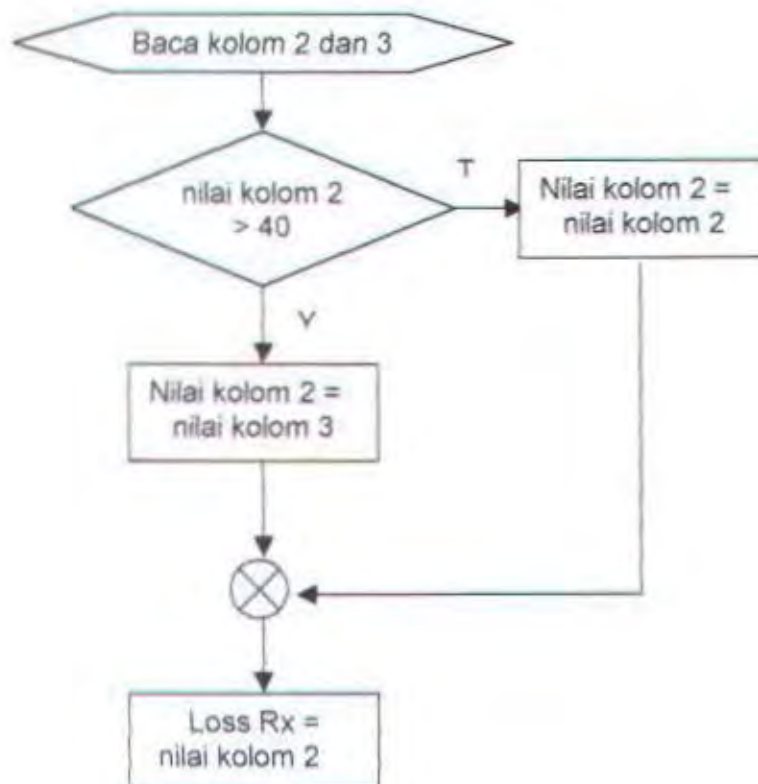
kolom  $k(:, 1)$  = port 0, untuk data pergeseran frekuensi.

kolom  $k(:, 2)$  = port 1, untuk data loss yang diterima Rec A.

kolom  $k(:, 3)$  = port 2, untuk data loss yang diterima Rec B.

kolom  $k(:, 9)$  = port 8, untuk data curah hujan dari rain meter.

Sentral analisis statistik yang diperlukan adalah pada loss yang diterima receiver dan laju curah hujan. Karena receiver A hanya mampu bekerja linear hingga loss 40 dB (disimpan dalam kolom 2) dan loss yang lebih tinggi akan dicover oleh receiver B (disimpan dalam kolom 3) maka loss sesungguhnya yang dialami oleh sistem receiver adalah gabungan dari data kolom 2 dan 3 dengan flowchart di bawah ini.





Berikutnya adalah mengkalibrasikan nilai yang tercatat dengan harga offset dan amplifikasinya, sehingga harga loss sebenarnya dinyatakan dalam rumus :

$$Loss\ Rx = (\text{nilai yang tercatat} / 409,6) \times \text{amplifikasi} + \text{offset}$$

Data curah hujan yang tersimpan dalam kolom 9 masih dalam besaran waktu (satunya detik) yaitu merupakan selisih waktu antara tipping kesatu dengan tipping berikutnya dari rain bucket saat terjadi hujan. Tipping time ini dideteksi oleh sebuah optocoupler di rain gauge. Jadi jika tidak hujan maka tip timenya bernilai nol. Walaupun rain meter yang dipakai dalam penelitian ini mempunyai sensitivitas pengukuran hingga 350 mm/h namun dalam perhitungan cukup dikonversikan harga curah hujan dibawah 200 mm/h.

Adapun konversi besarnya waktu tipping ( $\Delta t$ ) ke satuan mm/h dapat dipergunakan rumusan sebagai berikut :

1. Jika harga  $\Delta t = 0$  atau  $\Delta t \geq 360$  maka intensitas hujan = 0.
2. Jika harga  $1,395 > \Delta t \geq 1,035$  maka intensitas hujan =  $\left(\frac{456}{\Delta t}\right) - 38.8$  mm/h.
3. Jika harga  $5 > \Delta t \geq 1,395$  maka intensitas hujan =  $\left(\frac{418}{\Delta t}\right) - 11.6$  mm/h.
4. Jika harga  $\Delta t \geq 5$  maka intensitas hujan =  $\frac{360}{\Delta t}$  mm/h.

## BAB IV

### ANALISIS STATISTIK LOS LINK KA-BAND DI SURABAYA

#### 4.1 REPRESENTASI SINYAL

Pembahasan pada bab ini akan mengulas tentang analisis statistik pada data pengukuran. Langkah pertama adalah mengkonversikan data yang tercatat hingga diperoleh harga sebenarnya. Sesuai dengan pembahasan pada bab sebelumnya, konversi data loss di sisi penerima diperoleh dengan rumus :

$$\text{Loss Rx} = (\text{nilai yang tercatat} / 409,6) \times \text{amplifikasi} + \text{offset} \quad [\text{dB}]$$

Pada file data.idf pengukuran yang dilakukan mulai tanggal 12 Mei 2000 pukul 07:05:22 GMT yang tersimpan pada disket no. 102 diketahui bahwa :

Sinyal	Offset	Amplifikasi
LOS A	92	-10
LOS B	40	10
RAIN METER	-5,31	1

Dengan demikian jika tercatat sinyal los dengan level 3200 maka harga sebenarnya dari sinyal los tersebut adalah :

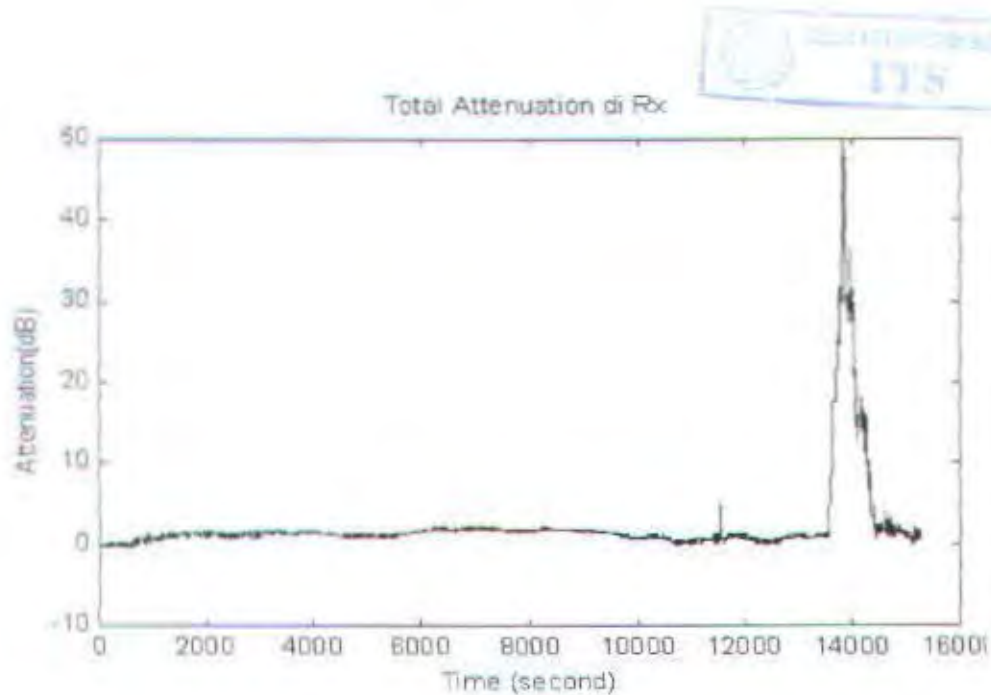
$$\text{Los} = (3200 / 409,6) \times (-10) + 92 = 13,87 \text{ dB}$$

Representasi dari sinyal yang terekam pada disket no 102 dapat dilihat pada gambar 4.1 – 4.2 dan disket 105 pada gambar 4.3 – 4.4

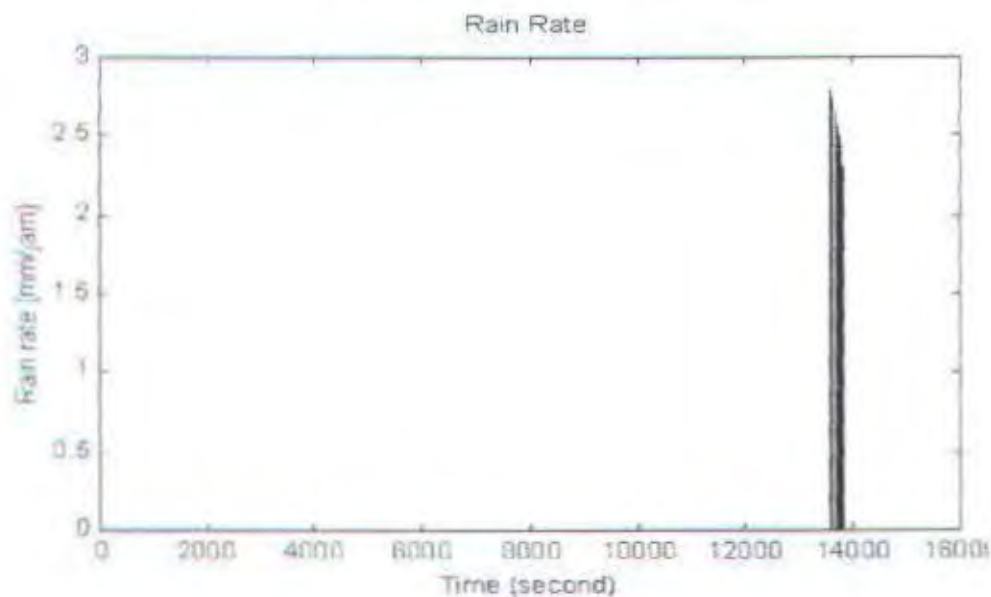
Sedangkan dari grafik intensitas hujan terlihat bahwa harga sebenarnya memenuhi kondisi  $\Delta t \geq 5$  sehingga rumus yang dipakai adalah :

$$\frac{360}{\Delta t} \text{ mm/h}$$

yang mengkonversikan data intensitas hujan di bawah 72 mm/h.



**Gambar 4.1**  
**Grafik Sinyal Redaman 12 Mei 2000**

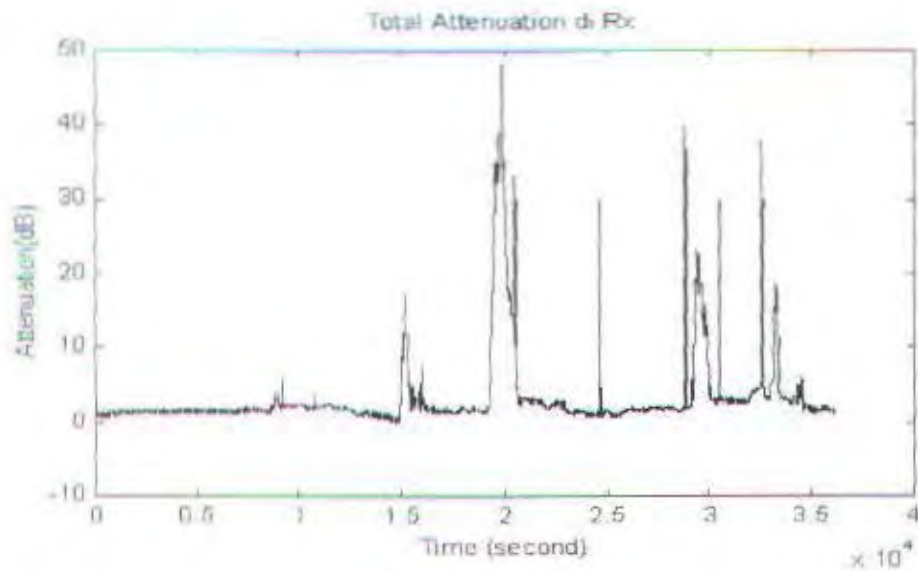


**Gambar 4.2**  
**Grafik Intensitas Hujan 12 Mei 2000**

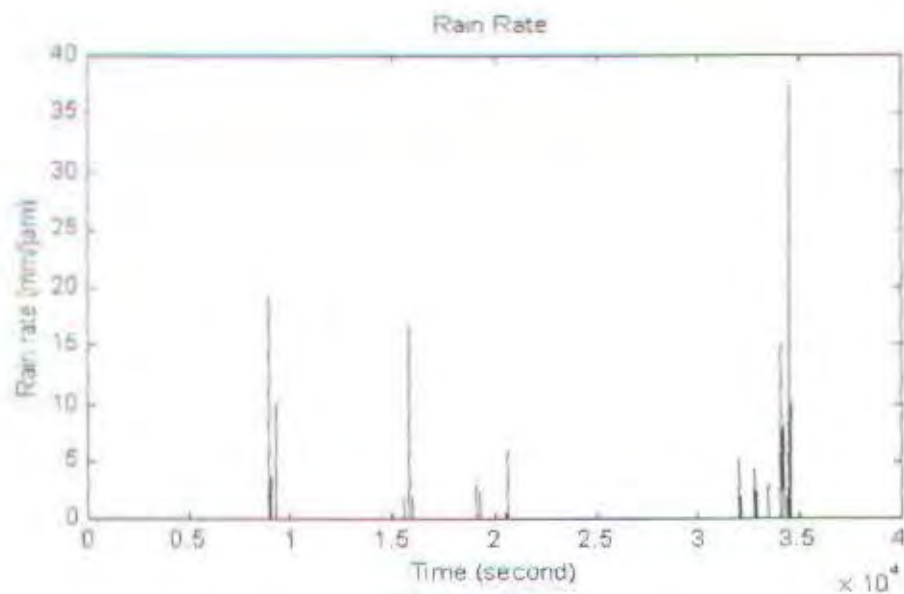
Dari beberapa gambar hasil pengukuran ini terlihat bahwa atenuasi naik secara tajam jika terjadi hujan. Walaupun demikian grafik tersebut kurang dapat memperlihatkan hubungan yang linear antara kenaikan intensitas hujan dengan



kenaikan atenuasi karena dalam penelitian ini curah hujan diperhitungkan hanya di lokasi penerima saja. Untuk memperoleh pengukuran curah hujan yang memadai seharusnya rain meter diletakkan setiap selang 100 m karena intensitas hujan bervariasi pada setiap jarak tersebut.



**Gambar 4.3**  
Grafik Sinyal Redaman 19 Mei 2000



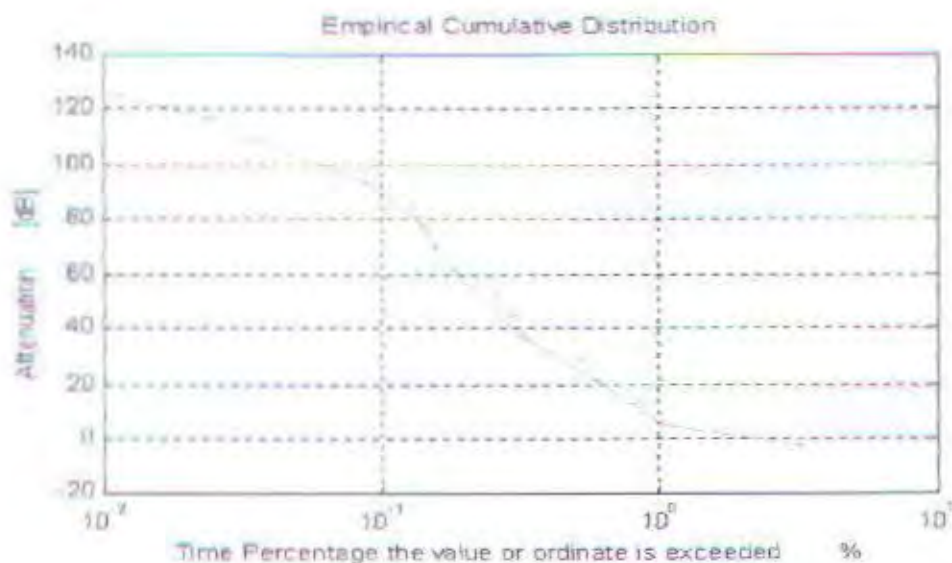
**Gambar 4.4**  
Grafik Intensitas Hujan 19 Mei 2000

## 4.2 DISTRIBUSI KUMULATIF EMPIRIS

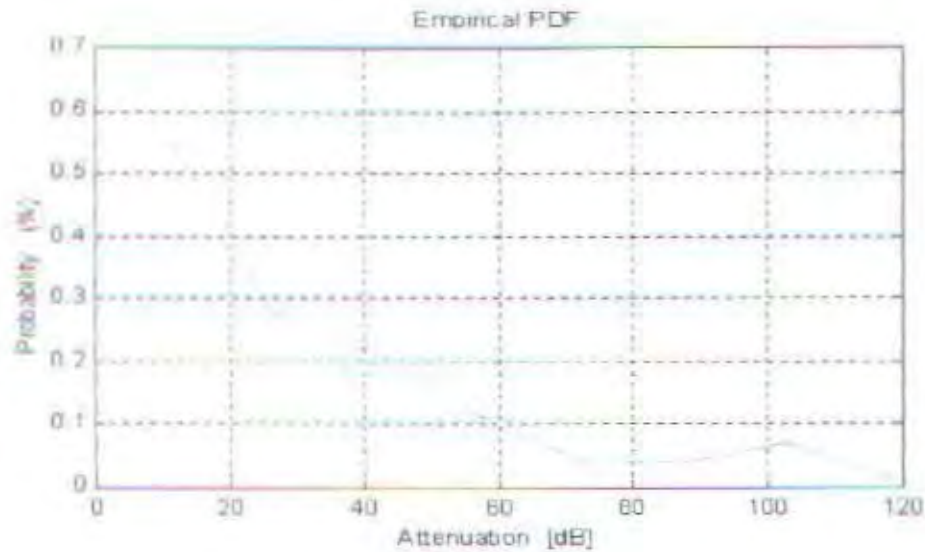
Dengan mempertimbangkan nilai deviasi baku dan rentang dinamik data pengukuran, maka dalam analisis ini data akan dikelompokkan dalam 17 kelas interval. Probabilitas dari masing-masing kelas interval diperoleh dari persamaan (2.31) sehingga dihasilkan PDF empiris-nya. Dengan hasil tersebut dapat diperoleh EDF yang dipresentasikan dalam persentase waktu sesuai persamaan (2.33).

Penelitian LOS link Ka-Band di Surabaya ini menghasilkan EDF dan PDF empiris dari atenuasi serta curah hujan sebagaimana ditampilkan pada gambar 4.5 sampai dengan gambar 4.7.

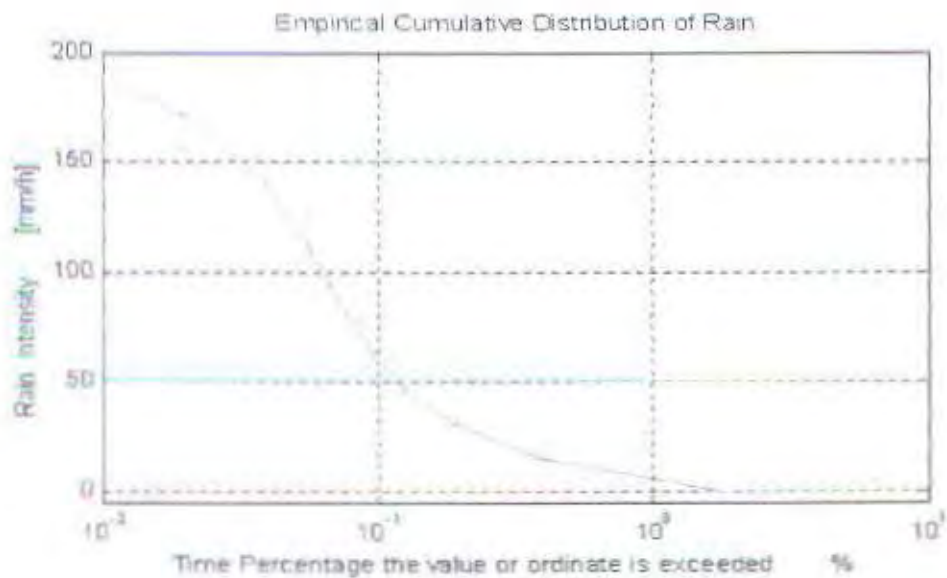
Grafik EDF redaman hujan terlihat masih "kasar" karena banyaknya data yang terkumpul masih sedikit. Sedangkan untuk EDF intensitas hujan sudah menunjukkan kurva yang lebih halus, walaupun demikian masih diperlukan kuantitas data yang lebih banyak lagi agar diperoleh model yang stabil.



Gambar 4.5  
EDF Redaman Hujan Surabaya



**Gambar 4.6**  
**PDF Empiris Redaman Hujan Surabaya**



**Gambar 4.7**  
**EDF Intensitas Hujan Surabaya**

#### 4.3 PERBANDINGAN TERHADAP MODEL

Hasil awal/ sementara berupa CDF empiris dari penelitian ini dapat diperbandingkan dengan model prediksi yang telah diperkenalkan antara lain : two-component, DAH dan rice-holmberg.



#### 4.3.1 Model Prediksi Two-Component

1. Menurut tabel 2.6 maka kondisi Surabaya mendekati karakteristik zona E dengan

$$P_c = 0,120 \quad R_c = 29,1 \quad P_D = 7,0 \quad R_D = 1,24 \quad \sigma_D = 1,41$$

2. Panjang lintasan terestrial  $D = 5,73$  km
3. Harga atenuasi reduksi,  $A = 40$  dB
4.  $L_c = \min(D_c, W_c)$  dimana  $W_c \geq 2,2$  km

$$C' = \frac{1 + 0,7(5,73 - 2,2)}{1 + (5,73 - 2,2)} = 0,766$$

$$R' = (0,766 \times 40 / 2,2)^{1/\alpha},$$

$$\text{dimana } \gamma_R = k R'^{-\alpha} \quad (k = 0,1536 \text{ \& } \alpha = 1,0183)$$

$$\text{Maka } R' = (90,67)^{1/1,0183} = 83,6153 \text{ mm/h}$$

$$\begin{aligned} W'_D &= 29,7^{(1,0183/(1,0183-0,34))} 0,1536^{[0,34/(1,0183-0,34)]} 18,52^{-[0,34/(1,0183-0,34)]} \\ &= 29,7^{1,5} 0,1536^{0,5} 40^{-0,5} \\ &= 161,85 \times 0,39 \times 0,1581 = 9,93 \text{ km} \end{aligned}$$

$$W'_D = \min(W_D, D) = 5,73 \text{ km}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } R'' &= \left( \frac{40}{0,1536 \times 5,73} \right)^{1,0183} \\ &= 43,147 \text{ mm/h.} \end{aligned}$$

$$\text{Dan } W''_D = 29,7 \times (43,147)^{-0,34} = 8,258 \text{ km}$$

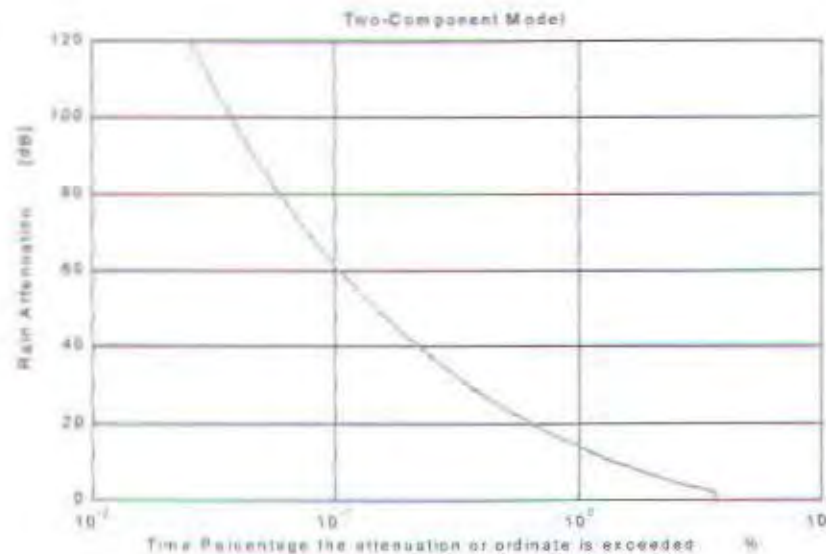
5. Probabilitas Atenuasi spesifik (redaman hujan) lebih dari 40 dB adalah:

$$P(a > 40) = 0,120(1 + 5,73/2,2)e^{-83,6153/29,1 +}$$

$$7,0(1 + 5,73/8,258)\eta\left(\frac{\ln 43,147 - \ln 1,24}{1,41}\right) \%$$

$$= 0,222 \%$$

Time percentage untuk harga redaman yang lainnya bisa dilihat di gambar 4.8.



**Gambar 4.8**  
**Model Two-Component**  
**Untuk Prediksi Redaman Hujan di Surabaya**

#### 4.3.2 Model Prediksi DAH

Model prediksi DAH sebetulnya digunakan untuk aplikasi link satelit. Model ini bisa diadopsikan pada link terestrial [2] dengan asumsi sudut elevasi  $\theta \cong 0^\circ$ , panjang lintasan miring  $L_s \cong L_g \cong$  panjang lintasan terestrial.

Meski demikian, sudut elevasi lintasan terestrial tidak akan sama dengan nol karena adanya kelengkungan permukaan bumi sehingga persamaan (2.51) sampai dengan (2.61) tetap terdefinisi (tidak ada pembagian dengan angka nol). Data input yang diperlukan untuk memperoleh model DAH di Surabaya adalah :

- o  $\phi = -7,3^\circ$  dan  $\theta \cong 0^\circ$  (asumsi untuk lintasan terestrial) dengan  $\xi = 45^\circ$
- o  $R_{0,01} = 170 \text{ mm/h}$ .
- o  $h_a = 0,3 \text{ km}$ .
- o  $f = 28 \text{ GHz}$ .
- o  $R_e = 8500 \text{ km}$ .

Dengan demikian prosedur penentuan prediksi atenuasi model DAH adalah :

1.  $h_b = 5,0$
2.  $L_a \cong 5,73$  km
3.  $L_g \cong 5,73$  km
4.  $\gamma = 0,1536 (170)^{1,0183}$  (dimana harga  $k = 0,1536$  &  $\alpha = 1,0183$ )  
 $= 28,6852$  dB/km.

$$5. \quad r/h_{0,01} = \frac{1}{1 + 0,78 \sqrt{\frac{5,73 \times 28,6852}{28}} - 0,38[1 - \exp(-2 \times 5,73)]} = 0,3568$$

$$6. \quad \zeta = \tan^{-1} \left( \frac{5,0 - 0,3}{5,73 \times 0,3568} \right) = \tan^{-1}(2,298) = 66,49^\circ$$

karena  $\zeta > \theta$ , maka  $L_r = \frac{5,73 \times 0,3568}{\cos 0^\circ} = 2,0466$  km

7.  $\chi = 36 - |\phi| = 28,7$  maka :

$$r/h_{0,01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin 0^\circ} \left[ 31(1 - e^{-0,1(1+28,7)}) \sqrt{\frac{2,046 \times 28,6852}{28^2}} - 0,45 \right]} = 1$$

8.  $L_e = 2,0466 \times 1 = 2,0466$  km
9.  $A_{0,01} = 28,6852 \times 2,0466 = 58,6499$  dB
10.  $z = 0$ ,  $p \geq 1$  % dan lainnya

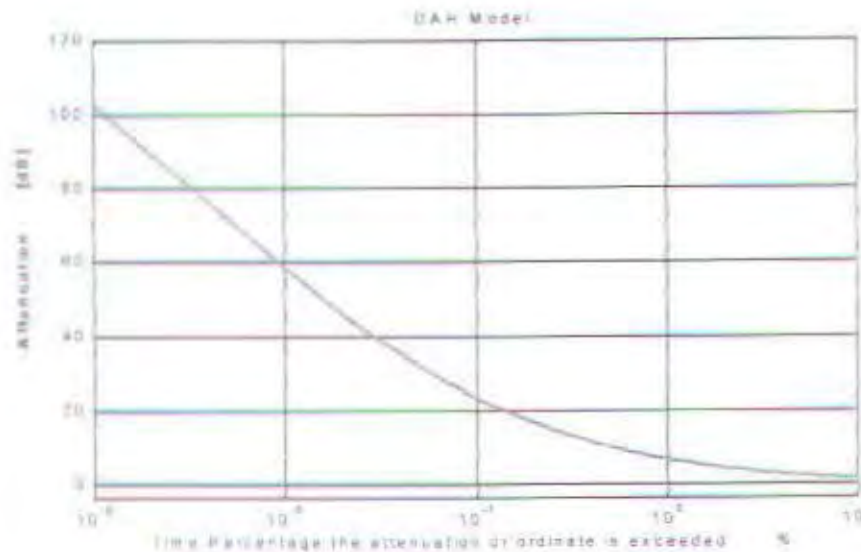
$$z = -0,005(|-7,3| - 36) + 1,8 - 4,25 \sin 0^\circ = 1,9435$$

Dan prediksi persentase atenuasi terlampaui dari rata-rata tahunan adalah :

$$A_p = 56,2 \left( \frac{p}{0,01} \right)^{-[0,655 + 0,033 \ln p - 0,045 \ln 56,2 - 0,49 \sin 20^\circ (1-p)]} \quad \text{untuk } p < 1 \%, \text{ dan}$$

$$A_p = 56,2 \left( \frac{p}{0,01} \right)^{-[0,655 + 0,033 \ln p - 0,045 \ln 56,2]} \quad \text{untuk } p \geq 1 \%$$





**Gambar 4.9**  
**Model DAK**  
**Untuk Prediksi Redaman Hujan di Surabaya**

maka untuk  $p = 1 \%$ , diperoleh  $A_1 = 6,679 \text{ dB}$

dan untuk  $p = 0,001 \%$ , diperoleh  $A_{0,001} = 102,8229 \text{ dB}$ .

Time percentage untuk harga redaman yang lainnya bisa dilihat di gambar 4.9.

#### 4.3.3 Model Prediksi Rice-Holmberg

Sesuai dengan tabel 2.4 sebagaimana dimuat dalam journal IEEE oleh Dissanayake dkk., Surabaya mempunyai harga  $M = 2000 \text{ mm}$  dan  $\beta = 0,7$ . Dengan demikian model Rice-Holmberg untuk intensitas hujan lebih dari  $R = 100 \text{ mm/h}$ , dapat diturunkan sebagai berikut :

$$P(r > R) = \frac{M}{87,66} \left\{ 0,03 \beta e^{-0,03R} + 0,2(1 - \beta) \times [e^{-0,258R} + 1,86e^{-1,63R}] \right\}$$

$$P(r > 100) = \frac{2000}{87,66} \left\{ 0,03 \times 0,7 e^{-0,03 \times 100} + 0,2(1 - 0,7) \times [e^{-0,258 \times 100} + 1,86e^{-1,63 \times 100}] \right\}$$

$$P(r > 100) = 0,0239 \%$$

Sebagai perbandingan, menurut data Badan Meteorologi & Geofisika (BMG), Surabaya mempunyai intensitas hujan tahunan rata-rata  $M$  sebesar 1570,9 mm (tabel 4.1). Dengan demikian model prediksi R-H untuk intensitas hujan  $R$  lebih dari 100 mm/h menjadi :

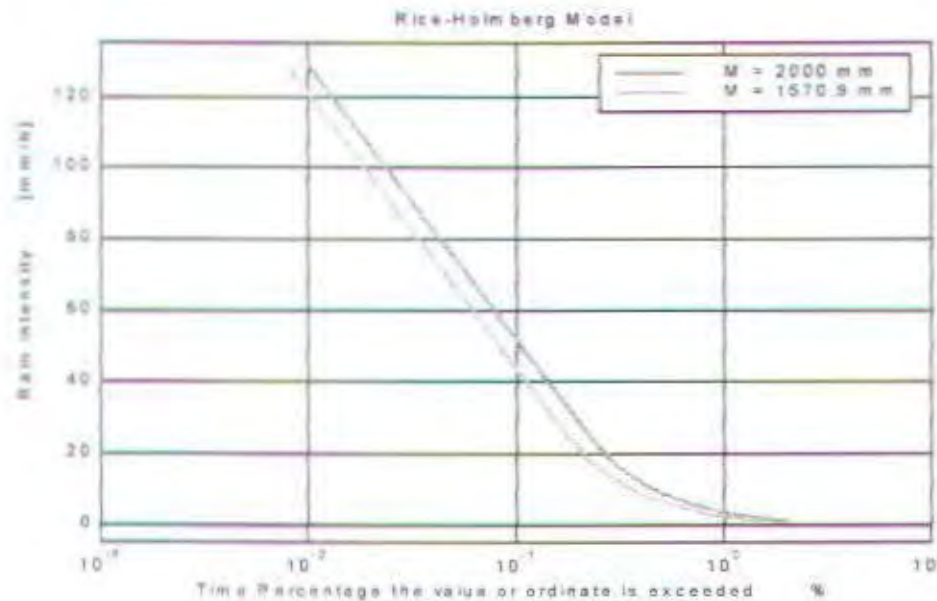
$$P(r > 100) = \frac{1570,9}{87,66} \left\{ 0,03 \times 0,7 e^{-0,03 \times 100} + 0,2(1 - 0,7) \times [e^{-0,258 \times 100} + 1,86 e^{-1,63 \times 100}] \right\}$$

$$P(r > 100) = 0,0187 \%$$

Untuk presentasi waktu dimana intensitas curah hujan dengan nilai tertentu terlampaui ditampilkan dalam gambar 4.10

**Tabel 4.1**  
**Intensitas Curah Hujan Surabaya**

Tahun	Intensitas Total mm/h
1981	1798,5
1982	1456,5
1983	1783,7
1984	1508,1
1985	1581,4
1986	1683,9
1987	1866,1
1988	1424
1989	1458,5
1990	1121,6
<b>Rata-rata</b>	<b>1570,9</b>



**Gambar 4.10**  
**Model Rice-Holmberg**  
**Untuk Prediksi Intensitas Hujan di Surabaya**

#### 4.3.4 Perbandingan Model dengan Data Empiris

Dari ketiga model prediksi di atas bisa kita lakukan analisis RMS Error sebagai berikut :

$$e_i = \frac{A_{pi} - A_{mi}}{A_{mi}} \times 100\% \quad \text{dimana :}$$

$e$  = presentase error prediksi

$A_p$  = harga prediksi

$A_m$  = harga pengukuran

$i$  = persentasi probabilitas dimana probabilitas error diperkirakan

Pada Model Two-component, untuk  $i = 0,1 \%$  diperoleh error sebesar :

$$\begin{aligned} e_{0,1} &= \frac{60.740 - 88.642}{88.642} \times 100\% \\ &= -31,477\% \end{aligned}$$



sehingga  $e_{rms} = \sqrt{-31,477^2} = 31,48 \%$

$e_{RMS}$  untuk model prediksi lainnya dan pada persentase waktu tertentu disajikan pada tabel 4.2.

Berdasarkan analisis RMS error di atas dapat disimpulkan bahwa data awal penelitian redaman hujan untuk frekuensi Ka-Band di Surabaya lebih mendekati model Two-Component. Adopsi model DAH untuk aplikasi link terestrial ternyata menunjukkan error yang sangat besar. RMS error yang relatif besar dari model Rice-Holmberg dikarenakan data intensitas hujan yang dikumpulkan masih belum cukup banyak.

**Tabel 4.2**  
**Perbandingan Redaman Empiris dengan Model Prediksi**

% Time Exceeded	Measured (dB)	Two-Component		D-A-H	
		(dB)	$e_{RMS}$ %	(dB)	$e_{RMS}$ %
2,00	0,41	5,925	93,08	3,967	89,66
1,00	5,02	12,839	60,90	6,511	29,70
0,70	16,21	18,271	12,71	8,038	50,41
0,50	25,432	23,209	8,74	10,074	60,39
0,10	88,642	60,740	31,48	22,797	74,28
0,07	95,884	72,592	24,29	28,395	70,39
0,05	103,128	85,432	17,16	31,957	69,01
0,04	107,078	96,296	10,07	35,011	67,30
0,03	113,004	111,111	1,68	39,082	65,42
Average			28,9		64,06

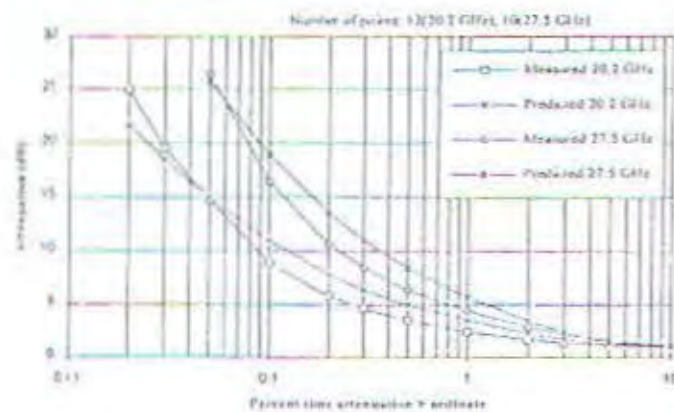
**Tabel 4.3**  
**Perbandingan Intensitas Hujan Empiris**  
**dengan Model Rice-Holmberg**

% Time Exceeded	Measured (mm/h)	Rice-Holmberg	
		(mm/h)	$e_{RMS}$ %
1,00	5,123	2,496	51,28
0,80	7,654	3,649	52,33
0,60	10,185	4,801	52,86
0,40	15,247	9,410	38,28
0,20	29,588	19,204	35,09
0,10	58,272	41,670	28,49
0,08	78,518	50,313	35,92
0,07	86,954	54,346	37,50
0,05	117,325	66,441	43,37
0,03	148,539	83,151	44,02
Average			41,91

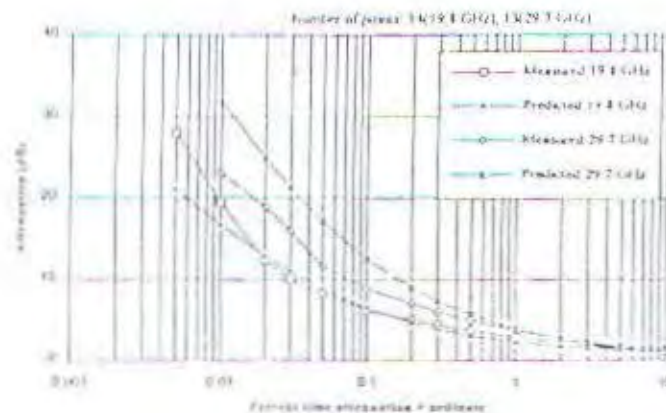
#### 4.4 PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN DI WILAYAH LAIN

Performa propagasi Ka-Band sangat bergantung dengan karakteristik cuaca atau iklim di suatu wilayah. Pada pembahasan berikutnya akan diperbandingkan EDF atenuasi hujan dari beberapa wilayah musim antara lain Amerika dan Eropa yang ditampilkan pada gambar 4.11 dan 4.12.

Dari gambar EDF terlihat bahwa distribusi redaman frekuensi Ka-Band di daerah temperate mempunyai kelengkungan yang lebih landai dari pada di Surabaya yang beriklim tropis. Hal ini disebabkan jumlah hari dimana terjadi hujan lebat di daerah tersebut, sangat sedikit. Total intensitas hujan rata-rata tahunannya hanyalah 843 mm untuk Oklahoma dan 770 mm untuk Eindhoven. Harga tersebut hanya separuh dari total intensitas hujan di Surabaya.



**Gambar 4.11**  
Distribusi Redaman pada 20,2 dan 27,5 GHz di Oklahoma, USA



**Gambar 4.12**  
Distribusi Redaman pada 19,8 dan 29,7 GHz di Eindhoven, NL

Pada persentase waktu 0,1 % di Oklahoma diperoleh redaman sebesar 16,5 dB (27,5 GHz), di Eindhoven diperoleh redaman 9 dB (29,7 GHz) sedangkan di Surabaya diperoleh redaman 88,642 dB (28 GHz). Perbandingan selengkapnya ditampilkan dalam tabel 4.4.



**Tabel 4.4**  
**Perbandingan EDF Ka-Band di Berbagai Daerah**

% Time Exceeded	Surabaya (dB)	Eindhoven (dB)		Oklahoma (dB)	
	28 GHz	11,8 GHz	29,7 GHz	20,2 GHz	27,5 GHz
10	-5	1	1	1	1
1	5,02	2,5	3	2,5	4,5
0,1	88,642	6	9	9	16,5
0,01		19	23		

#### 4.5 PERBAIKAN UNJUK KERJA LINK KA-BAND

Pada link sejauh 5,73 km yang digunakan saat ini telah digunakan range dinamik sebesar 80 dB namun dalam pengukuran diperoleh redaman maksimum sebesar 130 dB sehingga terjadilah outage pada sistem. Untuk mengatasi kendala tersebut perlu diperhitungkan kembali jarak yang sesuai.

Kompensasi pengurangan terhadap panjang lintasan link perlu dilakukan untuk meningkatkan range dinamik menjadi sebesar 130 dB. Dari implementasi awal diperoleh :

- ❑ Noise Floor Receiver sebesar -149,23 dBm.
- ❑ Equipment Loss = loss mixer, NF amplifier & receiver = 22 dBm.
- ❑ EIRP = 47 dBm.

Dengan demikian Input Receiver minimum yang masih bisa diterima adalah:

$$\begin{aligned}\text{Input Receiver} &= \text{Range dinamik} + \text{Noise Floor Receiver} \\ &= 130 - 149,23 = -19,23 \text{ dBm.}\end{aligned}$$

sehingga propagation loss maksimum yang diperbolehkan adalah :

$$\begin{aligned}\text{Propagation Loss} &= \text{EIRP} + \text{Gain Antenna} - \text{Equipment Loss} - \text{Input receiver,} \\ &= 47 + 33 - 22 + 19,23 = 77,23 \text{ dB}\end{aligned}$$

$$\text{Propagation loss} = \text{Free Space Loss} + \text{Multipath Fading}$$

$$\text{Multipath Fading} = G - 57 + 36 \log d + 8.9 \log f - 14 \log |1 + \epsilon p| - 10 \log p$$

Dimana :

$$G = 10 \log K + 57 \quad \text{dB}$$

$$G = 8,18772 \quad \text{dB}$$

$$|\epsilon p| = 1000 \arctan [ |h_r - h_e| / 1000.d ] \quad \text{mrad}$$

$$h_e = 60 \text{ m}$$

$$h_r = 30 \text{ m}$$

$$|\epsilon p| = 0.2999779 \quad \text{mrad}$$

$$\text{Multipath Fading} = 8,18772 - 57 + 36 \log D + 39,5797 - 1,595 - 6,70$$

$$= -17,52758 + 36 \log D$$

$$\text{Propagation loss} = (32,44 + 20 \log D + 88,9432) + (-17,52758 + 36 \log D)$$

Akhirnya dapat diperoleh panjang lintasan maksimum yang masih dapat terliput dalam range dinamik 130 dB yaitu sebesar 0,3346 km.

Jika dipilih link Metrosel – Elektro ITS sejauh 2,25 km maka propagation loss yang dialami 128,487 dB dengan range dinamik 78,743 dB.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari analisis statistik terhadap data awal yang telah terkumpul dan perbandingannya dengan beberapa model prediksi diperoleh hasil atau kesimpulan sebagai berikut :

1. Distribusi kumulatif redaman empiris yang diperoleh menunjukkan grafik yang lebih sesuai dengan model prediksi Two-component. Adopsi model DAH terhadap link terestrial menunjukkan RMS error yang cukup besar.
2. Pada persentase waktu 0,1 % diperoleh redaman empiris 88,642 dB dengan prediksi 60,740 dB (Two-component) dan 22,797 dB (DAH).
3. Rata-rata RMS error untuk model Two-component sebesar 28,9 % sedangkan untuk model DAH sebesar 64,06 %.
4. Pada persentase waktu 0,1 % diperoleh redaman empiris 88,642 dB dengan intensitas hujan sebesar 58,272 mm/h.
5. RMS error dari model Rice-Holmberg adalah sebesar 41,91 %. Error ini cukup besar karena data yang dikumpulkan masih kurang banyak.
6. Untuk mengatasi outage yang terjadi maka range dinamik dinaikkan menjadi 130 dB dengan syarat panjang link maksimumnya 0,3346 km.

#### 5.2 SARAN

Untuk memperbaiki hasil yang telah diperoleh dari penelitian ini serta untuk implementasi sistem Ka-Band mendatang ada beberapa hal yang bisa disarankan yaitu :



1. Jarak lintasan propagasi bisa diperkecil agar redaman yang terjadi tidak terlalu besar. Kerjasama dengan pihak Metrosel mungkin bisa ditindaklanjuti untuk pemindahan antena pemancar dari menara Indosat. Dengan demikian link transmisi menjadi sekitar 2 km.
2. Melanjutkan penelitian ini hingga 2 sampai dengan 3 tahun lagi sehingga diperoleh model yang lebih stabil.
3. Memasang rain meter lagi minimal 3 buah untuk memperoleh data intensitas hujan yang lebih akurat.
4. Setting dan kalibrasi ulang terhadap peralatan harus sering dilakukan agar alat ukur bekerja dengan baik. PLL Receiver sangat kritis terhadap suhu ruangan, jadi sistem pendingin harus dijaga agar tetap ON.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bagus Hambali, *Studi Kualitas Propagasi Terestrial Gelombang Ka-Band Antara ITS dan PT. (Persero) INDOSAT Tbk.*, Tugas Akhir, JTE-ITS, 1999.
- [2] Dissanayake, et al., *Prediction Model Along Earth-Satellite Paths*, IEEE Transaction On Antennas and Propagation, vol. 45 no. 10, October, 1997.
- [3] H-S Alfredo, *Konsep-konsep Probabilitas dalam Perencanaan dan Perancangan Rekayasa*, jilid I, Erlangga, Jakarta, 1992.
- [4] J.D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, 1992.
- [5] M. Salehudin, et al., *28 GHz Line-of-Sight Link Propagation Experiment in Surabaya Indonesia*, Proceeding of The Industrial Electronic Seminar, Surabaya, 1999.
- [6] P. L. Rice and N. R. Holmberg, *Cumulative Time Statistics of Surface Point Rainfall Rates*, IEEE Trans. Commun., vol. 21, October, 1973.
- [7] R. K. Crane, *A Two-component rain model for the prediction of attenuation statistics*, Radio Science, vol 17, no. 6, Nov-Dec, 1982.
- [8] Tri T. Ha, *Digital Satellite Communications*, McGraw-Hill, 1990.
- [9] Wayne Tomasi, *Advanced Electronic Communications Systems*, Prentice Hall, 1992.
- [10] \_\_\_\_\_, 1998, *Kajian Pendahuluan Kualitas Propagasi Ka-Band di Indonesia*, Laporan Akhir, Fakultas Teknologi Industri, ITS
- [11] \_\_\_\_\_, 1997, *Building GUIs with Matlab version 5*, The MathWorks Inc.

- [12] \_\_\_\_\_, 1998, *Matlab Function Reference (Volume 1 : Language)* version 5, The MathWorks Inc.
- [13] \_\_\_\_\_, 1998, *Signal Processing Toolbox* version 4, The MathWorks Inc.
- [14] \_\_\_\_\_, 1999, *Statistical Toolbox* version 2, The MathWorks Inc.
- [15]

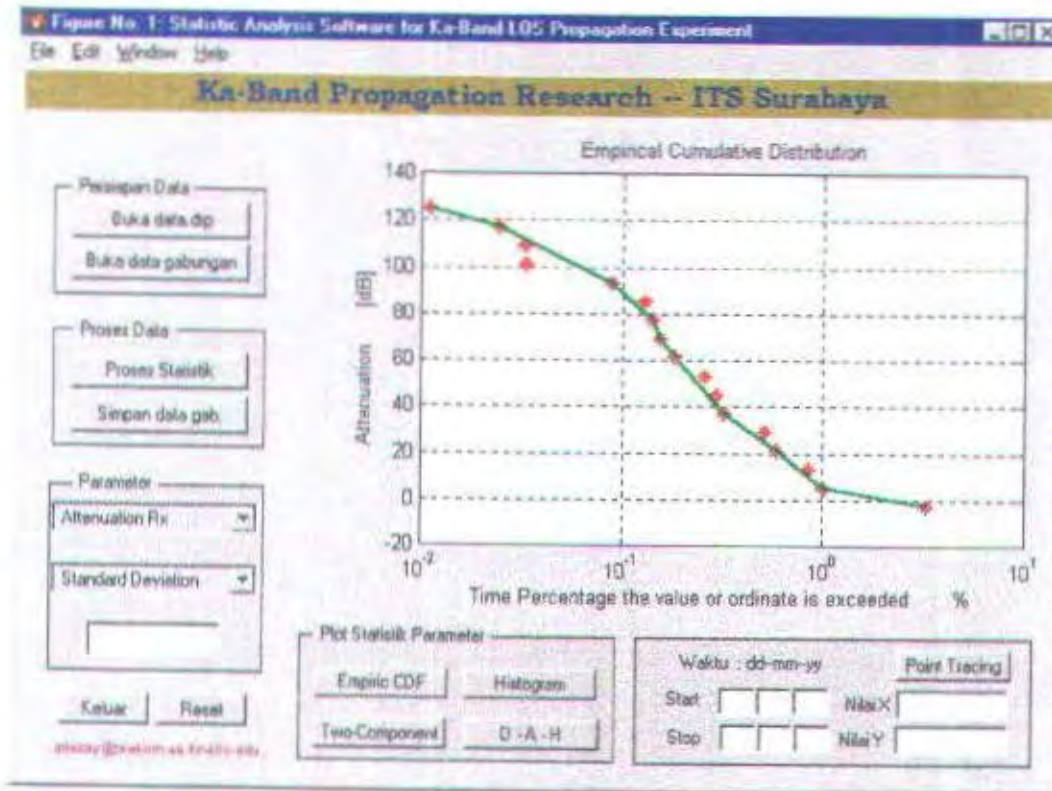


## DAFTAR ISTILAH

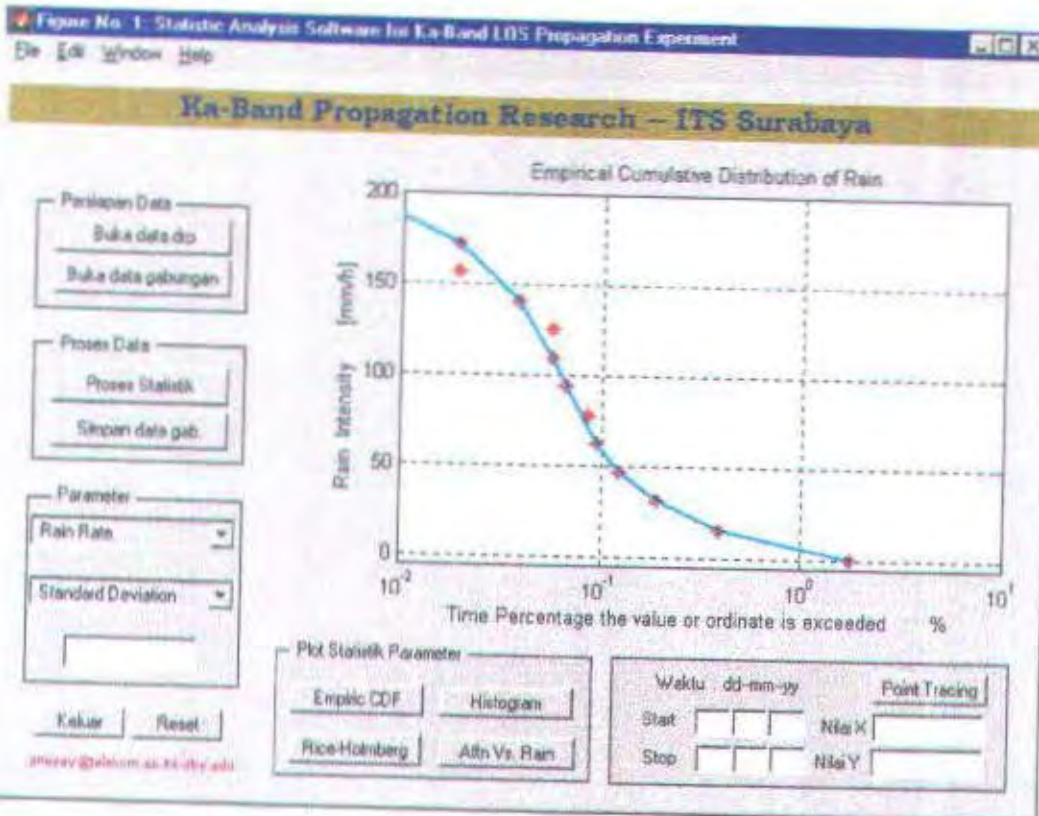
- CDF (Cumulative Distribution Function) 26, 48
- DAH (Dissanayake-Allnutt-Haidara) 27, 48, 49, 50, 51, 54, 59
- LOS (Line-of-Sight) 9, 10, 12, 24, 36, 43, 46
- PDF (Probability density Function) 26, 30, 46, 47
- R-H (Rice-Holmberg) 21, 30, 31, 52
- RMS (Root Mean Square) 27, 53, 54, 55, 59
- RSL (Received Signal Level) 35
- RTL (Received Threshold Level) 35

## TAMPILAN PROGRAM

### RAIN ATTENUATION PROCESSING



## RAIN INTENSITY PROCESSING





## LISTING PROGRAM

```

*PROGRAM EKSEKUSI AWAL dengan nama : start1.m
clear all;clc;
echo off;

paramlist=[' Attenuation A      ':' Attenuation B      ':' Attenuation RM      ':'
Rain Rate      ':' Freq. Deviation ':'];
statlist=[' Mean      ':' Standard Deviation ':' Dynamic Range
':' Correlation      ':'];

Hnol = figure('Color',[0.2 0.2 0.8], ...
    'Name','Statistic Analysis Software for Ka-Band LOS Propagation
Experiment', ...
    'Position',[57 56 692 475], ...
    'Tag','Fig1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[17.25 237.75 105.75 52.5], ...
    'String','Buka data.drp', ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[141 12 157.5 61.5], ...
    'String','Curve Fitting', ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','proska(''bacadatagab'')', ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[27 245.25 87.75 18], ...
    'String','Buka data gabungan', ...
    'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[26.25 281.25 60.75 14.25], ...
    'String','Persiapan Data', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','empcdf', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[149.25 42.75 66 15], ...
    'String','Empiric CDF', ...
    'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...

```

```

        'Position',[147.75 65.25 89.25 13.5], ...
        'String','Plot Statistik Parameter', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[223.5 18 67.5 15], ...
    'String','Atin Vs. Rain', ...
    'Tag','Pushbutton4');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[15.75 54 107.25 91.5], ...
    'String','Parameter', ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame4', ...
    'Value',1);
h1 = axes('Parent',Hnol, ...
    'Units','pixels', ...
    'CameraUpVector',[0 1 0], ...
    'CameraUpVectorMode','manual', ...
    'Color',[1 1 1], ...
    'Position',[268 158 402 243], ...
    'Tag','Axes1', ...
    'XColor',[0 0 0], ...
    'YColor',[0 0 0], ...
    'ZColor',[0 0 0]);
h2 = text('Parent',h1, ...
    'Color',[0 0 0], ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Position',[0.4987531172069825 -0.09917355371900816
9.160254037844386], ...
    'Tag','Axes1Text4', ...
    'VerticalAlignment','top');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
    'Color',[0 0 0], ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Position',[-0.07231920199501252 0.4958677685950415
9.160254037844386], ...
    'Rotation',90, ...
    'Tag','Axes1Text3', ...
    'VerticalAlignment','baseline');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
    'Color',[0 0 0], ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Position',[-0.6683291770573566 1.305785123966942
9.160254037844386], ...
    'Tag','Axes1Text2', ...
    'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
    'Color',[0 0 0], ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Position',[0.4987531172069825 1.028925619834711
9.160254037844386], ...
    'Tag','Axes1Text1', ...

```

```

        'VerticalAlignment','bottom');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
p1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','par1', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[17.625 116.5 103.5 19.5], ...
    'String','paramlist', ...
    'Style','popupmenu', ...
    'Tag','PopupMenu1', ...
    'Value',3);
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[27.75 136.75 42.75 12.75], ...
    'String','Parameter', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText4');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','histbg', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[223.5 42.75 66 15], ...
    'String','Histogram', ...
    'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','riholm', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[148.5 18 66 15], ...
    'String','Rice-Holmberg', ...
    'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','close', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[21.75 27.75 45 15], ...
    'String','Keluar', ...
    'Tag','Pushbutton5');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','close,start1', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[70.5 27.75 45 15], ...
    'String','Reset', ...
    'Tag','Pushbutton5');
p2 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','dstat', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[17.625 87 103.5 19.5], ...
    'String','statlist', ...
    'Style','popupmenu', ...
    'Tag','PopupMenu1', ...
    'Value',2);
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Enable','inactive', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[35.25 60.75 66.75 17.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditText1');

```



```

h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','proska(''bacadata'')', ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[27 265.5 87.75 12], ...
    'String','Buka data.drp', ...
    'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[308.25 11.25 198 62.25], ...
    'String','Curve Fitting', ...
    'Style','Frame', ...
    'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','akuisisika(''timing'')', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[360.25 35.25 18.75 14.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditText1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[315 37.5 34.5 11.25], ...
    'String','Start', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','akuisisika(''timing'')', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[369 35.25 18 14.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditText2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','akuisisika(''timing'')', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[387 35.25 18.75 14.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditText3');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[329.25 53.25 74.25 13.5], ...
    'String','Waktu : dd--mm--yy', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Enable','inactive', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[438.75 33.75 56.25 15], ...

```

```

        'Style','edit', ...
        'Tag','Editor1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Enable','inactive', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[438 16.5 57 15], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','Editor2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[409.5 19.5 24 9.75], ...
    'String','Nilai Y', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText7');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[412.5 36.75 24 9.75], ...
    'String','Nilai X', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText7');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','proska(''Identify'')', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[438.75 53.25 57 15], ...
    'String','Point Tracing', ...
    'Tag','Pushbutton15');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.501960784313725 0.501960784313725 0], ...
    'FontName','Bookman Old Style Bold', ...
    'FontSize',14, ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ForegroundColor',[0 0 1], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[1.25 327.75 513.25 19.75], ...
    'String','Ka-Band Propagation Research -- ITS Surabaya', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText3');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontName','Arial', ...
    'FontSize',7.2, ...
    'ForegroundColor',[0.501960784313725 0 0.250980392156863], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[15 9.75 113.25 10.5], ...
    'String','ariesay@telekom.ee.its-sby.edu', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText6');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[17.25 163.5 105.75 57.75], ...

```

```

        'String','Simpan data gab.', ...
        'Style','frame', ...
        'Tag','Frame2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[27 212.25 31.75 13.5], ...
    'String','Proses Data', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText5');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','prosi', ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[27 192 87.75 18], ...
    'String','Proses Statistik', ...
    'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'Callback','proska(''simpandata'')', ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[27 170.25 87.75 18], ...
    'String','Simpan data gab.', ...
    'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[316.5 18.75 33 11.25], ...
    'String','Stop', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','akuisisika(''timing'')', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[387.75 17.25 18.75 14.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditText3');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','akuisisika(''timing'')', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[369.75 17.25 18 14.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditText2');
h1 = uicontrol('Parent',Hnol, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','akuisisika(''timing'')', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[351 17.25 18.75 14.25], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditText1');

```



```

function proska(efek)

global losaamp losaamp losboff losaoff rainoff
global total clah k losrx bukarain pl
global datanew

switch efek

case 'bacadata' Fungsi untuk membaca rawdata
    ButtonName=questdlg('Inputkan data Kalibrasi ? (min. satu kali)', ...
        'Data Question', ...
        'Sudah','Input kalibrasi','Input kalibrasi');

    switch ButtonName,
    case 'sudah',
        close(gcf);
    case 'Input kalibrasi',
        proska('ampoffterr');
    end % switch

%clear all;
w = 400;
h = 400;
s = get(0, 'ScreenSize');
[namas,path] = uigetfile('*.drp','Open File',(s(3)-w)/2, (s(4)-
h)/2);
nam = [path,namas];
if nam==0,
    msgbox('Selesai gabung data','Append Message')
    stand = 1;
end
[fid,pesan] = fopen(nam,'r','l');
if (fid==2)|(fid==1),
    msgbox(pesan,'Open Message')
end
[k,sum] = fread(fid,[10 inf],'int16');
k = mat';
k=k';
k=k(:,9);
fclose(fid);
proska('gabungdata');proska('bacadata');

case 'bacadatagab' Fungsi untuk membaca rawdata
w = 400;
h = 400;
s = get(0, 'ScreenSize');
[namas,path] = uigetfile('*.drp','Open File',(s(3)-w)/2, (s(4)-
h)/2);
nam = [path,namas];
if nam==0
    bukarain=total;
    losrx=total(:,1);
    msgbox('Selesai gabung data','Append Message')
    stand = 1;
end
[fid,pesan] = fopen(nam,'r','l');
if (fid==2)|(fid==1),
    msgbox(pesan,'Open Message')
end
[k,sum] = fread(fid,[1 inf],'int16');
k = k';
fclose(fid);
proska('gabungdata');proska('bacadatagab');

case 'ampoffterr' Variabel input kalibrasi terrestrial
prompt=('LOS A Offset (dB):','LOSS A Amp (dB):',...
    'LOS B Offset (dB)','LOS B Amp. (dB)','Rainmeter Offset:');

```

```

def=['85','-10','40','10','-10'];
titl='Nilai Offset dan Penguatan Link Terrestrial';
lineNo=1;
answer=inputdlg(prompt,titl,lineNo,def);
losacif=str2num(char(answer(1,:)));
losaamp=str2num(char(answer(2,:)));
losboff=str2num(char(answer(3,:)));
losahamp=str2num(char(answer(4,:)));
rainoff=str2num(char(answer(5,:)));

case 'gabungdata' % Menggabungkan semua data yang dibuka
    total=[total;datanew];
    total=[total;k];
    clear global k;

case 'simpandata'%Fungsi untuk menyimpan rawdata Rx & rainrate
    w = 400;
    h = 400;
    s = get(0, 'ScreenSize');
    [nama,path]=uiputfile('*.drp','Simpan Data',(s(3)-w)/2, (s(4)-
h)/2);
    nam = [path,nama];
    if nam==0
        msgbox('Tidak jadi simpan data','Save Message')
    end
    [fid,pesan]=fopen(nam,'w','l');
    if (fid==2)|(fid==-1),
        msgbox(pesan,'Save Message')
    end
    mat=bukarain;
    fwrite(fid,mat,'int16');
    fclose(fid);

case 'identify'
    titik=input(1);
    data=get(gcf,'UserData');
    data.horison=titik(1);
    data.vertikal=titik(2);
    data.index=1;
    set(gcf, 'UserData', data);
    SlideShow=data.index;
    % dapat slides
    SlideShowtextStr1=data.horison;
    SlideShowtextStr2=data.vertikal;
    if length(SlideShowtextStr1)==0
        SlideShowtextStr1='';
    end
    if length(SlideShowtextStr2)==0
        SlideShowtextStr2='';
    end
    editthori=findobj(gcf,'Tag','Edithor');
    editverti=findobj(gcf,'Tag','Editver');
    set(editthori,'UserData',data,'String',SlideShowtextStr1);
    set(editverti,'UserData',data,'String',SlideShowtextStr2);
    set(gcf, 'UserData', data);
    vars=who;
    data=get(gcf, 'UserData');
    for SlideShown=1:size(vars,1),
        vars(SlideShown,2)=eval(vars(SlideShown,1));
    end
    set(gcf, 'UserData', data);

end
end

```

» Nama Program : pros1.m

```
global losbamp losaamp fdevoff fdevamp losboff losaoff rainoff
global total datanew clah
global losrx bukarain
```

```
% Menghitung LOS A
be = total(:,1);
losa = (be/409.6)*losaamp+losaoff;

% Menghitung LOS B
ce = total(:,2);
losb = (ce/409.6)*losbamp+losboff;

% Menghitung rain rate
ii = total;
bukarain=abs(ii./100);
clear('ii');
[panjang,a] = size(bukarain);
for i=1:length(bukarain)
    if (bukarain(i)>=4)&(bukarain(i)<=3600)
        bukarain(i)=(360./bukarain(i));
    elseif (bukarain(i)>=1.395) & (bukarain(i)<4)
        bukarain(i)=(418./bukarain(i))-14.52;
    else
        bukarain(i)=0;
    elseif (bukarain(i)>=3.176)&(bukarain(i)<4)*1.395
        &(bukarain(i)>=1.395)*1.395
    elseif (bukarain(i)>1.035)&(bukarain(i)<5)*1.035
        & bukarain(i)=(456./bukarain(i))-38.8;
    end
end
end
k1 = find(bukarain <= 0);
if any(k1)
    tmp = NaN;
    bukarain(k1) = tmp(ones(size(k1)));
end
bukarain=bukarain(~isnan(bukarain));

% Menghitung LOS Total di Rx
be = total(:,1);
losa = (be/409.6)*losaamp+losaoff;clear('be');
ce = total(:,2);
losb = (ce/409.6)*losbamp+losboff;clear('ce');
% MENGGABUNGKAN LOS A & LOS B: dicari LOS A>40
%kemudian losa(k1) > 40 - losb
k2 = find(losa > 40);
if any(k2)
    losa(k2) = losb(k2);
end
losrx = losa;
```



```
% NAMA PROGRAM : pari.m
```

```
global losrx bukarain
v=get(pl,'Valde');
if v==1 % Menggambar LOS A
    [panjang,s] = size(losa);
    awal = 1:panjang;
    plot(awal,losa);
    grid;
    title('Total Attenuation A');
    xlabel('Time (minute)');
    ylabel('Attenuation(dB)');
    hold off;

elseif v==2 % Menggambar LOS B
    [panjang,s] = size(losb);
    awal = 1:panjang;
    plot(awal,losb);
    grid;
    title('Total Attenuation B');
    xlabel('Time (minute)');
    ylabel('Attenuation(dB)');
    hold off;

elseif v==3 % Menggambar LOS Total di Rx
    [panjang,s] = size(losrx);
    awal = 1:panjang;
    plot(awal,losrx);
    grid;
    title('Total Attenuation di Rx');
    xlabel('Time (minute)');
    ylabel('Attenuation(dB)');
    hold off;

else v==4 % Menggambar rain rate
    [panjang,s] = size(bukarain);
    awal = 1:panjang;
    plot(awal,bukarain,'*');
    grid;
    title('Rain Rate');
    xlabel('Time (minute)');
    ylabel('Rain rate [mm/jam]');
    hold off;
end
```

```

% EMPCDF is Empirical CDF.
% fo adalah probabilitas EXCEEDED dari
% kelas interval yg. center-nya xo
% lihat EMPPDF

% xo adalah output berupa nilai center tiap kelas interval
% yang identik dengan bin.
% no adalah jumlah data pada tiap kelas interval.

data=bukarsin;
naik=std(data);
if naik==0
    warning('Zero Standard Deviation','Graph is not available');
else
    xo=[5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100];
    xo=(min(data):(max(data)-min(data))/17:max(data));
    %xo=xo;
    no=hist(data,xo);
    fo=no./length(data); % probabilitas tiap kelas interval
    % Menghilangkan kelas interv yang ber-prob nol
    fo=fo;
    fo=100.*(1-cumsum(fo));%MASIH ADA YANG BERNILAI NOL
    % SO, PERLU Menghilangkan LAGI kelas interv yang ber-prob nol
    k1 = find(fo <= 0);
    if any(k1)
        tmp = NaN;
        fo(k1) = tmp(ones(size(k1)));
        xo(k1) = tmp(ones(size(k1)));
    end
    fo=fo(~isnan(fo));
    xo=xo(~isnan(xo));

    i=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13];% 11 13 16 17];
    semilogx(fo,xo,'r',fo(i),xo(i),'b-');
% Inisialisasi sumbu
    if min(fo)<0.01
        axfo_min=0.01;
        axis([axfo_min 18 min(xo)-5 200];max(xo)+5]);
    end
    grid on;
    xlabel('Time Percentage the value or ordinate is exceeded (%)');
    ylabel('Rain Intensity [mm/h]');
    title('Empirical Cumulative Distribution of Rain');
    hold off;
end

```

```
% NAMA PROGRAM : histog.m

xo=[min(data):(max(data)-min(data))/17:max(data)];
n=hist(data,xo);
fa=(n./length(data)).*100;
bar(xo,fa,'b');
title('Histogram Data Intensitas Hujan');
xlabel('Intensitas Hujan (mm/jam)');
ylabel('Probabilitas');

```



```

% NAMA PROGRAM : twocomp.m

A=1:1:120;
A=A/40;
d=5.73;Dc=d;Dd=d;
Lc=2.2;
Wc=Lc;
k=0.1536;
alfa=1.0138;
Pc=0.12;Rc=29.1;Pd=7;Rd=1.24;Tod=1.41;

C=(1+0.7*(Dc-Wc))/(1+(Dc-Wc));
R1=(C*A/(k*Lc)).^(1/alfa);
Wld0=29.7*(alfa/(alfa-0.34))*k^(0.34/(alfa-0.34)).*A.^-(0.34/(alfa-0.34));

if Wld0 < d
    R2=(A./(k*Wld0)).^(1/alfa);
else
    R2=(A./(k*d)).^(1/alfa);
end

Wld= 29.7*R2.^(-0.34);

P1=Pc*(1+Dc/Wc)*exp(-R1/Rc);
P2=Pd.*(1+Dd/W2d);
P3=normpdf((log(R2)-log(Rd))/Tod);
P=P1+(P2.*P3);
hnd1=semilogx(P,A);
set(hnd1,'LineWidth',2)
grid on;
xlabel('Time Percentage the attenuation or ordinate is exceeded (%)');
ylabel('Rain Attenuation [dB]');
title('Two-Component Model');
hold off;

```

```

% NAMA PROGRAM : dah.m

eta=7.3;
teta=0.29; %20;
hs=0.3;
p=170;
f=28;
zeta=0;
Re=8500;k= 0.1536;a=1.0183;
gama=k*R^a;

hfr=0;
lr=5.73; % (hfr-hs)/sin(teta/180*pi);
lg=5.73; % lg*cos(teta/180*pi);
rh=1/(1-0.78*(sqrt((lg*gama)/f)-0.38*(1-exp(-2/lg))));
lr=lg*rh/cos(teta/180*pi);
rv=1/(1+sqrt(sin(teta/180*pi))*(31*(1-exp(-
teta/(1*28.7))*sqrt((lr*gama)/f^2)-0.45)));
lc=lr*rv;
A001=gama*lc;

p1=1:0.1:10;
Ap1=A001*(p1/0.01).^(0.655+0.033*log(p1)-0.045*log(A001));

p2=0.001:0.01:0.99;
z=-0.005*(eta-36)+1.8-4.26*sin(teta/180*pi);
Ap2=A001*(p2/0.01).^(0.655+0.033*log(p2)-0.045*log(A001)-
z*sin(teta/180*pi)*(1-p2));

p=[p2,p1];
Ap=[Ap2,Ap1];
hnd1=semilogx(p,Ap);
set(hnd1,'LineWidth',2)
%legend('M = 2000 mm/h','M = 1570.9 mm/h');
grid on;
axis([0.001 10 min(Ap)-5 120]); %max(xo)+5];
xlabel('Time Percentage the attenuation or ordinate is exceeded (%)');
ylabel('Attenuation [dB]');
title('DAH Model');
hold off;

```

```

% NAMA PROGRAM : riholm.m

clear all;
M1=2000;
M2=1570.9;
b=0.7;
R=100;
R=1:0.1:130;
P1=M1/87.66*(0.03*b*exp(-0.03.*R)+(0.2*(1-b)*(exp(-0.258.*R)+(1.86*exp(-
1.63.*R)))));
P2=M2/87.66*(0.03*b*exp(-0.03.*R)+(0.2*(1-b)*(exp(-0.258.*R)+(1.86*exp(-
1.63.*R)))));
hnd1=semilogx(P1,R,'-b',P2,R,'-r');
set(hnd1,'LineWidth',2);
legend('M = 2000 mm','M = 1570.9 mm');
grid on;
axis([0.001 10 min(P2)-5 135]);[max(x0)+5];
xlabel ('Time Percentage the value or ordinate is exceeded (%)');
ylabel('Rain Intensity [mm/h]');
title('Rice-Holmberg Model');
hold off;

```



FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO ITS

EL.1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS

Nama Mahasiswa : ARIES AMIN YUSUF  
Nomor Pokok : 2294 100 043  
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi  
Tugas Diberikan : Juli 1999  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. M. Salehudin, M. Eng. Sc.  
Judul Tugas Akhir :

**ANALISIS STATISTIK DATA PENGUKURAN LOS (Line of Sight) LINK  
FREKUENSI Ka-BAND DI SURABAYA**

Uraian Tugas Akhir :

Frekuensi adalah resource yang sangat terbatas dalam telekomunikasi propagasi radio. Oleh karena itu, implementasi sistem propagasi radio dengan alokasi frekuensi Ka-Band akan dibutuhkan pada masa mendatang. Karakteristik Ka-Band yang sangat rentan terhadap iklim ini sedang diteliti ITS dengan EUT Belanda dengan melakukan uji transmisi data LOS link Ka-Band di Surabaya.

Pada uji transmisi tersebut diukur level sinyal terima serta beberapa parameter meteorologi seperti curah hujan, temperatur dan tekanan udara.

Tugas akhir ini akan membahas analisis statistik dari data pengukuran tersebut sehingga diketahui distribusi dan korelasi antara parameter transmisi dengan parameter meteorologi dalam mempengaruhi karakteristik dan reliability sistem propagasi LOS link Ka-Band tersebut. Diharapkan dapat diperoleh model statistik yang sesuai berdasarkan distribusi kumulatif dari redaman hujan dan curah hujan dalam bentuk persentasi waktu, untuk implementasi sistem tersebut secara baik dan andal di Surabaya.

Surabaya, Juli 1999

Menyetujui :

Dosen Pembimbing,

 21/7 '99

Dr. Ir. M. Salehudin, M. Eng. Sc.

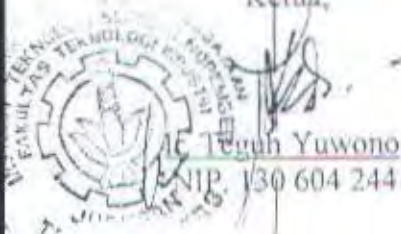
NIP. 130 532 026

Mengetahui :

Jurusan Teknik Elektro  
Ketua,

Koordinator

Bidang Studi Teknik Telekomunikasi,



A. Teguh Yuwono  
NIP. 130 604 244

 018/8 '99

Ir. M. Aries Purnomo  
NIP. 130 532 040

## USULAN TUGAS AKHIR

- A. JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis Statistik Data Pengukuran LOS (Line of Sight) Link Frekuensi Ka-Band Di Surabaya.
- B. RUANG LINGKUP :  
- Sistem Komunikasi Gelombang Mikro  
- Sistem Komunikasi Bergerak  
- Statistik Industri  
- Probabilitas dan Proses Stokastik  
- Pemrograman Komputer
- C. LATAR BELAKANG : Studi tentang penggunaan frekuensi Ka-Band di Indonesia belum banyak dilakukan walaupun di masa mendatang alokasi frekuensi tersebut akan dibutuhkan seiring dengan kebutuhan komunikasi broadband. Oleh karena itu ITS dengan EUT Belanda telah melakukan uji transmisi data LOS link Ka-Band di Surabaya. Frekuensi Ka-Band relatif lebih rentan terhadap perubahan atmosfer dari pada band frekuensi yang lebih rendah. Dalam uji coba ini dilakukan pengukuran level sinyal serta beberapa parameter meteorologi seperti curah hujan, temperatur dan tekanan udara. Tugas akhir ini akan melakukan analisis statistik terhadap raw data yang diperoleh selama uji transmisi di atas. Analisis statistik tersebut sangat penting untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setiap parameter meteorologi terhadap sistem ini sehingga dapat membantu membuat model yang dapat memperbaiki unjuk kerja sistem propagasi Ka-Band ini.



#### D. TUJUAN

1. Menganalisis secara statistik dan mengkaji secara teknis data pengukuran propagasi radio pada Ka-Band di Surabaya.
2. Mensimulasikan data dan pemodelan sistem propagasi propagasi radio pada Ka-Band di Surabaya.

#### E. PENELAAHAN STUDI

Aplikasi teknologi propagasi radio pada Ka-Band di Indonesia masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Oleh karena itu dilakukan uji transmisi sistem propagasi LOS link di Surabaya pada frekuensi Ka-Band dimana akan dilakukan pengukuran terhadap level sinyal terima serta parameter cuaca seperti curah hujan, temperatur dan tekanan udara. Parameter cuaca ini akan menyebabkan fading dan atenuasi sehingga mempengaruhi tinggi level sinyal yang diterima. Untuk keperluan analisis statistik (distribusi kumulatif) diperlukan data yang bersifat long-term (tahunan). Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan maka dengan menggunakan software MATLAB dilakukan analisis statistik dengan mengolah raw data dari masing-masing parameter sehingga diperoleh nilai rata-rata (mean), nilai tengah (median) dan simpangan baku (standard deviation). Selanjutnya dibuat persamaan Probability of Density Function (PDF) serta beberapa Cumulative Distribution seperti Distribusi Log-Normal, Rayleigh, Poissons, Binomial dan Gaussian dari redaman hujan dan rain rate dalam bentuk persentase waktu. Dihitung pula besar korelasi dan autokorelasi dari parameter yang diukur. Analisis statistik ini kemudian disimulasikan dan dicari pemodelan statistik yang



paling sesuai dengan kondisi Surabaya. Dengan mengacu pada sistem propagasi bergerak diperkirakan level sinyal terima akan mengikuti distribusi Rayleigh.

#### F. METODOLOGI

1. Studi literatur dan metode pemrograman komputer
2. Analisis statistik dan pembahasan
3. Pembuatan program simulasi
4. Penulisan buku

#### G. RELEVANSI

1. Melalui hasil tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan sumbangan pengetahuan dan pemikiran tentang penerapan propagasi radio pada frekuensi tinggi (Ka-Band) di Surabaya dengan kondisi lingkungan yang alami secara statistik serta dapat dijadikan tolok ukur bagi pengembangan aplikasi teknologi broadband telekomunikasi berbasis propagasi radio frekuensi tinggi.

#### H. JADWAL KEGIATAN

Kegiatan	Bulan					
	1	2	3	4	5	6
1. Studi literatur & pemrograman komputer						
2. Analisis statistik & pembahasan						
3. Pembuatan software						
4. Penyusunan buku						

#### I. DAFTAR PUSTAKA

1. Y. Karasawa, Y. Maekawa, "Ka-Band Earth-Space Propagation Research In Japan", Proceeding IEEE, Vol. 85, No. 6, June 1997, hal. 821 - 830.

2. M. Alouini, S.A. Borgsmiller, P.G. Steffes,  
*"Channel Characterization and Modelling for  
Ka-Band very Small Aperture Terminals"*,  
Proceeding of the IEEE, vol. 85, No. 6, June  
1997, hal. 981 - 997.

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 16 Maret 1976, bernama Aries Amin Yusuf. Penulis merupakan putra tunggal pasangan Bapak H. Abdul Madjid dan Ibu Hj. Siti Aisyah. Penulis beragama Islam dan selama kuliah aktif di kegiatan HMJ dan pernah menjabat Koordinator Bidang Komunikasi Massa Himatektro ITS tahun 1996-1997.

### RIWAYAT PENDIDIKAN :

1. SDN Jajar Tunggal II, Surabaya, lulus tahun 1988.
2. SMP Negeri 16, Surabaya, lulus tahun 1991.
3. SMA Negeri 6 Surabaya, lulus tahun 1994.
4. Tahun 1994-hingga sekarang, tercatat sebagai mahasiswa Teknik Elektro, FTI - ITS Surabaya, diterima lewat jalur UMPTN dengan NRP 2294 100 043.

### RIWAYAT ORGANISASI PROFESI :

1. Sekretaris Asisten Laboratorium Teknik Telekomunikasi JTE – FTI – ITS tahun 1998 – 1999.
2. Instruktur Komputer di SLTP Negeri 6 Surabaya tahun 1996 – 1997.
3. Turut mendirikan warnet Mid.net tahun 2000.